Science Council of Canada
Conseil des sciences du Canada

Discussion Paper

The Canadian Water Resources Equipment Industry: Opportunities for Research and Manufacturing

Bruce A. Fenton

The Canadian Water Resources Equipment Industry: Opportunities for Research and Manufacturing

Bruce A. Fenton, Manager
Finance and Corporate Development
Zenon Environmental Inc.
845 Harrington Court
Burlington, Ontario L7N 3P3

January 1989

Discussion papers are working documents. They are made available by the Science Council of Canada, in limited numbers, to interested groups and individuals for the benefit of their comments.

The views expressed in this discussion paper are those of the author and are not necessarily endorsed by the Science Council of Canada.

Copies of

THE CANADIAN WATER RESOURCES EQUIPMENT INDUSTRY: OPPORTUNITIES FOR RESEARCH AND MANUFACTURING

are available
free of charge from:

The Publications Office
Science Council of Canada
100 Metcalfe Street
Ottawa, Ontario K1P 5M1

Vous pouvez aussi vous procurer la version française à l'adresse ci-dessus.

©Minister of Supply and Services, 1988

Catalogue No. SS21-5/1988-4E
ISBN 0-662-16396-6

The Canadian industries that supply water and treat wastewater are fragmented and poorly defined. This makes them difficult to study quantitatively. As a result, the economic and technological importance of this sector has often been neglected. Recent Statistics Canada estimates show that the environmental protection industry as a whole employs between 100 000 and 130 000 people. But only 40 per cent of these are involved in the treatment of water and wastewater. About 8500 persons are employed in manufacturing and distributing equipment for the water resources industry.

A second measure of the importance to the Canadian economy of water treatment and water pollution control is the level of direct investment in equipment, services, and plant. Between 1981 and 1985, approximately $2.2 billion was spent annually on water and sewage works, including treatment plants and collection and distribution systems. About $455 million is spent annually in Canada on manufactured products for water and wastewater treatment. If trends continue toward more stringent industrial and municipal wastewater requirements, this figure could rise to almost $600 million by 1992.

It is difficult to calculate Canada's trade balance in manufactured products in the water-resources sector. However, we estimate only 55 per cent of the Canadian market is held by Canadian products and that this market share is declining.

This weakening of a fledging Canadian industry is particularly unfortunate because the market for high-quality, efficient, technology-based products in this field will expand sharply in the near future.

Canadian environmental research is internationally respected. However, there has been a notable lack of successful commercialization of technology from this research. Several reasons are apparent:

- Only a small fraction of Canadian research expenditure is directed toward technology development to address water-quality problems. The bulk of research funds is still directed toward problem identification and monitoring.

- Canadian firms are generally small and undercapitalized; consequently they are unable to conduct their own mid- to long-term technology development.

- Even when academic or government research is application-oriented, there is often too large a gap between bench-scale projects and commercial development.

- Contacts and cooperation between universities and government institutions (where most Canadian research of this type is conducted) and the private sector, which ultimately commercializes technological advances, are much too limited to result in the efficient transfer of technology.

To reverse the decline within this potentially important domestic industry, and to permit Canada to fully exploit a market on the threshold of substantial growth, it is important to improve the commercial technology base. In particular, it is important to link university and government research laboratories with private firms capable of deriving maximum commercial benefit from research expenditures.

CONTENTS

Foreword 7

1. Introduction 9

2. Industry Description 10
   Water Desalination 10
   Water and Wastewater Treatment 12
   Point-of-Use Treatment 15
   Water Supply and Distribution 15

3. Economic Impact of the Water Resources Sector 17
   Employment 17
   Direct Investment 17
   Trade Balance in Water Resources Equipment 19

4. Competitive Position of Canadian Industry 22
   Profile of Private Sector Firms 22
   Assessment of Canadian Technology Base 23
   Canada's Position in Key Technologies 23

5. Centres for Applied Water Research in Canada 27
   Government Institutions 27
   Universities 28
   Private Sector 29

6. Mechanisms for Technology Commercialization 30
   Framework of Participants 30
   Recommendations to Facilitate Technology Transfer 30

Notes 34

Tables

Table 1. Categories of Equipment used in Water and Wastewater Treatment 13
Table 2. Number of Firms in the Environmental Protection Industry in Canada, 1986 14
Table 3. Jobs in the Canadian Environmental Protection Industry, 1986 18
Table 4. Total Value of Construction Work in Canada on Water and Sewage, 1980-85 19
Table 5. Short-Term Capital Expenditure Requirements 20
Table 6. Canadian Imports of Water and Sewage Treatment Equipment by Country of Origin, 1980-86 21
Table 7. Profile of Industry Participants 31

FOREWORD

Canadian water research shows potential in many areas. Researchers are currently investigating new means to deal with synthetic organics, biological approaches to the removal of contaminants, and automation of wastewater treatment. Advances in these areas will help us preserve the environment and protect water resources against abuse. They will enable us to meet more stringent pollution controls, manage an ever-expanding number of contaminants, and respond to an increasing emphasis on product recycling and energy recovery.

The new technologies based on water research also have the potential to create jobs and generate income. The domestic market for water and wastewater treatment technologies should soon top $600 million per annum. In addition, there are enormous export possibilities.

To date Canadians have largely failed to exploit their research findings to develop a sound industrial base serving the areas of water purification and pollution control. But it is not too late for Canada to build on its international reputation in water science and seize a good proportion of the world market.

This paper, one of four discussion papers issued by the Science Council's Committee on Water Resources, examines the Canadian industrial base in water purification and pollution control equipment, reviews current and possible future technologies, and the links between researchers, manufacturers, and users. As such, the paper provides a reference point for those who want to participate in the development of a Canadian water-resources industry.

J.M. Gilmour
Director of Policy Analysis
Science Council of Canada

Water is a vital resource. Until recently, however, its importance to Canadians has been overlooked due to its seeming abundance and extremely low cost. Now individuals, governments, and industries have recognized the need for water-resource planning to ensure that enough water of adequate quality is available to meet long-term needs.

For more than 40 years Canadian scientists have been internationally recognized for their work on water and pollution control. In 1983 Canada spent almost $56 million or $2.25 per capita on water-related research.[1] This level of expenditure, although as high or higher than that in other industrialized nations, has not translated into a strong manufacturing sector. Several factors are to blame:

- In Canada water has historically been abundant and pure. Therefore the need for advanced industrial and municipal water and wastewater treatment equipment did not develop as rapidly as in other industrial nations.

- Canada has generally lacked the large manufacturers of industrial equipment and chemicals that in other countries spawned producers of environmental equipment.

- Canada has never had a comprehensive plan to encourage the conversion of research results into commercially useful products.

In 1987, the Science Council, as part of its study of Canadian water-use management, identified clean water technologies as an area deserving special attention. This discussion paper surveys the Canadian manufacturing base that produces equipment for water purification and water pollution control and assesses the ability of this sector to meet current and future demands.* The discussion paper also examines the interrelationships between all those involved with water-pollution control technology -- from university, government, and industrial researchers to municipal and provincial authorities charged with water supply and disposal, to private-sector companies that seek to use or commercialize research results.

---

* A Science Council contract report by John A. Cherry et al, Groundwater in Canada: Overview of Activities and Issues and Recommendations for a National Research Strategy, deals with these issues as they relate to groundwater.

The water-resources industry can be grouped into six subsectors[2]:

- water desalination
- water and wastewater treatment
- point-of-use treatment
- water supply and distribution
- irrigation
- subsurface exploration and source development (groundwater).

Irrigation and underground source development are beyond the scope of this report. However, we can assess the health of the Canadian industry by examining the remaining four subsectors.

Water Desalination

Desalination as used here means the removal from water not only of salts, but of other dissolved solids. Desalination normally produces water acceptable for human or agricultural consumption from a seawater or brackish water source. Desalination is also used to produce water for high-technology manufacturing, such as production of electronic wafers, and for boiler feedwater to produce steam.

The principle technologies in desalination are:

- **Distillation:** water is heated to a vapour and subsequently condensed, leaving behind materials (primarily dissolved inorganics such as minerals and salts) that require a higher temperature to volatize. Distillation is simple but, in its elementary form, energy-intensive. For distillation to be economic on a large scale, sophisticated methods -- such as multiple-effect evaporation, vapour recompression, and vacuum distillation -- are needed.

- **Reverse osmosis** uses semipermeable membranes that allow water to pass while permitting through only small quantities of dissolved solids. Such systems operate at a pressure sufficient to overcome the osmotic pressure of the liquid. Because no phase change is required, reverse osmosis is much less energy-intensive than distillation.

- **Electrodialysis** uses an electric charge to separate dissolved salts into positively and negatively charged ions. For example, common salt (sodium chloride) when dissolved in water can be separated by an electric charge into positively charged sodium and negatively charged chloride ions.

- **Deionization** resins are made up of a material that has an affinity for ions. When water containing free ions passes through a resin bed, the ions are attracted to the surface of the resin and thereby removed from the water. Eventually the resin becomes exhausted and must be recharged.

Technologies for desalination have their greatest application in the production of potable water for human consumption. They are particularly important in the Middle East for use on seawater and in the southern United States, where many available water sources are brackish (that is, they have relatively high levels of dissolved minerals or salts). Canadians have seldom had to resort to seawater or brackish water supplies on a large scale. Consequently in this country the technologies are used mainly to supply pure water for use as boiler feedwater or where specific manufacturing and laboratory processes require it.

Reverse osmosis is likely to dominate the future desalination market. However, ultrafiltration and microfiltration membrane technologies have numerous uses other than desalination in treating water and wastewater and in industrial processing. In 1985 worldwide membrane sales for all applications exceeded $1 billion. By 1995 this figure is expected to exceed $2 billion (before accounting for the effects of inflation).

The increasing importance of membrane technology is demonstrated by the level of

funds committed to research. In 1983 the Japanese government launched a 10-year, $46-million program in membrane research. A joint European project estimated at $70 million over 6 years was funded in 1986 under the "Eureka" research and development program. In-house spending on membrane research by multinational chemical firms (such as Dow Chemical, Du Pont, Celanese, Rohm and Haas, Union Carbide, and W.R. Grace) probably totals more than $15 million a year world-wide.

Overview of the Canadian Industry

Six firms in Canada manufacture membrane systems for reverse osmosis. But only one firm, Zenon Environmental Inc., carries out research and development as well as production of membranes.

Canada had an early lead in membrane technology, but has not translated this into a commercial success. Membrane desalination systems first became viable in the early 1960s, as a result of a synthetic membrane material discovered by Srinivasa Sourirajan at the University of California at Los Angeles. Shortly after his discovery Sourirajan joined the National Research Council (NRC) in Ottawa and built a strong technical group to advance the study of membrane science. Although the work of this group continues, and Canada remains near the forefront in scientific understanding in this field, commercial membrane production is dominated by American and, more recently, Japanese companies.

At least six Canadian firms produce resin bed deionization systems. Two of these, Gaco Systems and Glegg Water Conditioning, have almost 20 per cent of the North American market with combined annual sales of about $40 million. This strong market position is attributed to lower Canadian steel and steel-fabricating costs for the containment vessels, and an exchange rate advantage over U.S. competitors. All Canadian manufacturers of this type of equipment use resins manufactured in the United States to form the active component of the system. Very little commercial research is being done in Canada on resins for deionization.

No Canadian firms are strong in large-scale distillation or electrodialysis for water purification. This is not of particular concern as large-scale distillation is a declining technology, despite efforts to make the process less energy-intensive. Similarly, although electrodialysis is a good mechanism for some industrial process separations, its usefulness in water treatment is limited: reverse osmosis membrane technology is improving faster than electrodialysis.

Trends and Opportunities

Some of these technologies, particularly reverse osmosis, will likely be increasingly used to produce potable water in Canada because of their superior ability to remove synthetic and natural organic matter in water. The need for high-performance treatment technologies is becoming more acute as the level of such pollutants in source water continues to rise and the potential carcinogenic effects of some of them become better understood.

An opportunity is also becoming evident from the start of a strong industrial emphasis on the recycling of wastewater and the recovery of materials from it. This trend results from a combination of several factors:

- The increasing costs of water and of the disposal of wastewater and liquid hazardous waste has encouraged a reduction in the volume of waste discharged and an increase in the reuse of water.
- Industries are facing increasing, sometimes unquantifiable, liability problems associated with waste disposal.
- Efficient separation of the contaminants from wastewater within industrial processes can result in raw material savings.

These factors have created a need for technologies that can recover selected products and recycle water at a quality equal to, or better than, a plant's raw-water supply. What is needed is not research for fundamental technological advance, but detailed, application-specific research to demonstrate that it is technically feasible

and economic to apply existing technologies. Such work requires an understanding of thousands of industrial processes and of all the technologies of separation and recycling.

In most industries this type of research is carried out by private firms, whereas more-theoretical work is carried out by institutions and academic researchers. However, because of its smallness, Canada's water-resources industry has generated little application-oriented research. Unless this situation is reversed, the Canadian industry will be forced to play a minor role as the need for industrial waste recycling and water reuse grows.

Water and Wastewater Treatment

Water treatment normally consists of applying a series of chemical and physical processes to remove suspended solids and kill bacteria and viruses before the water is distributed and used. Wastewater treatment can consist of some or all of a wide variety of chemical, physical, and biological processes to make the used water less offensive or hazardous to the environment before it is discharged to a receiving water body.

A tremendous variety of technologies and components is used to treat water and wastewater depending on the volume and the contaminants involved.

Generally, water for municipal and industrial use is treated by adding some form of inorganic or polymeric coagulant, then filtering out turbidity and chlorinating to kill disease-causing organisms. Although the process is relatively simple, there are many variations, and the number of components for instrumentation and control, pumping, chemical storage and feed, and filtration is quite large.

There are even more techniques for wastewater treatment because of the almost limitless combinations of impurities that must be removed. This is especially true for industrial wastewater. Despite its variety, equipment manufactured to treat wastewater is normally intended to accomplish only one of the following results:

- Separate an impurity from water based on differences in specific gravity. Numerous devices are used to assist this process such as dissolved air flotation, centrifugation, and pretreatment with chemical coagulants.

- Separate an impurity from water according to the size of the impurity. Filters can be made up of many different materials and configurations, ranging from a bed of sand to a plastic film with submicron passageways.

- Transform the impurities by adding chemicals to form other compounds that are either less offensive or more easily removed.

- Break down the impurities through controlled biological degradation. This is one of the primary treatment methods (along with gravity separation) used in municipal sewage treatment.

Each treatment method has its own pool of expertise, equipment, and design technology.

Table 1 lists the categories of equipment used in water and wastewater treatment. No attempt is made in this paper to address the technical capabilities of Canadian manufacturers in each category or to assess their ability to meet anticipated future demands for specific products.

Overview of Canadian Industry

In Canada more than 2500 communities -- more than 90 per cent of all Canadians -- have some form of water supply system. In the early 1980s there were approximately 1440 sewage treatment facilities in Canada serving 57 per cent of Canadians. An additional 28 per cent of Canadians were served by sewage collection systems but this sewage was discharged to a river, lake, or ocean without treatment. In Ontario and provinces further west nearly all sewage received treatment before discharge, whereas in Quebec and parts of Atlantic Canada only a small fraction of sewage collected was treated.[3] In 1978 Quebec embarked on a program to improve

Table 1. Categories of Equipment used in Water and Wastewater Treatment

Aeration equipment	Agitators and mixers	Air blowers
Air compressors	Air diffusers	Air dryers
Air filters	Alarm systems	Analytical equipment
Backflow preventers	Cathodic protectors	Centrifuges
Chemical feeders	Chemical mixers	Chlorination equipment
Clarifiers	Coagulators	Coatings and linings
Commutors and grinders	Concentrators	Controllers
Cooling towers	Dechlorinators	Degriters
Demineralizers	Detectors (gas)	Diffusers
Digesters	Disinfection equipment	Ejectors
Fans	Filters	Fittings
Flocculators	Flotation eqipment	Fluoridation equipment
Flumes	Gauges	Heat exchangers
Hydrants	Incinerators	Instrumentation
Ion exchange equipment	Iron removal plants	Leachate systems
Liners	Meters	Oil-water separators
Ozonators	Pipe	Pumps
Recorders	Reverse osmosis equipment	Reservoirs
Screens		Sedimentation systems
Sludge dewatering equipment		Separators
Valves		Tanks
		Thickeners
		Water quality systems
		Water softeners

Source: Water and Pollution Control, 1987 Directory and Buyer Guide, 124(6), 1986, 16.

water and wastewater treatment services in that province. By 1986 this "Programme d'assainissement des eaux du Québec" was responsible for an annual expenditure of approximately $700 million. The program is somewhat behind schedule; even so Quebec will constitute the largest market for municipal treatment equipment in Canada for at least the next 5 years.

A more detailed description of anticipated capital expenditures is given in the next chapter. However, current annual spending on municipal and industrial equipment to treat water and wastewater is approximately $445 million, and this will increase to over $600 million by 1992.

According to Table 2, 389 companies in Canada manufacture, sell, or distribute equipment for water-pollution control. There are 36 companies involved with treatment chemicals. A few companies provide both equipment and chemicals. Of these 389 firms in the water treatment equipment business, I estimated that fewer than 20 per cent manufacture in Canada, and of these only about 30 control any unique or proprietary technology.

Trends and Opportunities

A number of trends are becoming important to water and wastewater treatment:

Table 2. Number of Firms in the Environmental Protection Industry in Canada, 1986

Consulting/engineering	567
Air pollution control equipment	23
Water pollution control equipment	389
Other equipment	310
Treatment chemicals	36
Solid waste handling	61
Liquid waste handling	92
Waste treatment/disposal	38
Laboratories	58
Recycling	428
Total	2 002

Source: W.M. Glenn, Environmental Protection Industry: Inventory of Firms, unpublished report prepared for Environment Canada, Corpus Information Services, Don Mills, ON, 1987, 2.

- The range of contaminants (particularly synthetic organics) requiring monitoring, removal, or both is expanding rapidly.
- Technologies effective in dealing with synthetic organics are being used more frequently. These technologies include granular or powdered activated carbon, membrane processes, and novel approaches to anaerobic and aerobic digestion to speed up the biological processes.
- Biotechnology is being used to develop methods to destroy contaminants normally toxic to bacteria, such as cyanide.
- Regulations are becoming more stringent, which necessitates improved processes, closer operating control, a greater number of process steps, or a combination of these advances.
- Automation in the form of on-line instrumentation and control is being used much more to optimize plant operation.
- There is an increasing emphasis on product recycling and energy recovery.

These trends imply that Canadian firms, to be in the forefront of the water industry as it grows during the next two decades, must be technologically up-to-date in the following areas:

- adsorption
- advanced separations
- biological reactor design
- biotechnology
- on-line instrumentation and computer control
- plant automation software.

Canadian researchers are active in most of these areas, but little has occurred to facilitate transfer of the knowledge gained to the private sector.

Assuming that municipal and industrial plants will be upgraded to acceptable standards and that new plant construction will continue at its present pace, the aggregate demand for water and pollution control equipment will increase to $600 million per year over the next 5 years. Most of this increase will be for waste treatment and recycling. There are several reasons for this:

- Changes in pollution control regulations and standards are occurring most rapidly in the area of wastewater discharge.

- Firms will attempt to minimize the liability created by off-site disposal by implementing more sophisticated on-site waste treatment and water (and product) recycle systems, thereby reducing the amounts both of wastewater discharged and potable water purchased.

- The cost of off-site disposal of liquid hazardous wastes will rise as site availability declines.

- The costs to industry (and residential consumers) will increase sharply as more municipalities attempt to recover the actual costs of water and wastewater treatment services.

Point-Of-Use Treatment

Historically, Canadians have relied on central municipal treatment plants, or uncontaminated wells or springs in rural areas, to supply potable water. However, during the past 10 years, more and more people, lacking confidence in the purity of their drinking water, have installed purification devices at the point of use. These devices are also used in laboratories that require purer water than is available from a tapwater source.

Point-of-use systems use ultraviolet radiation, filtration, adsorption, ion-exchange, demineralization, distillation, or reverse osmosis. Water softeners (ion-exchange) also fall into this category of treatment systems; they were first developed in the hardwater areas of the U.S. midwest.

Bottled water competes against these technologies in the point-of-use market. In Canada approximately 1 of every 20 households regularly buys bottled drinking water. This ratio is somewhat higher in Ontario and Quebec. The growth in consumption of bottled water in Canada exceeds 20 per cent annually.[4]

Overview of Canadian Industry

At present, the firms supplying point-of-use domestic systems in Canada are affiliated with American companies such as Culligan, Lindsay Water Conditioning, and Rayne. Very little product manufacturing is done in Canada; companies here act primarily as sales and service organizations. Two notable exceptions are Water Conditioning located in Winnipeg, Manitoba, and Trojan Technologies of London, Ontario, specializing in the manufacture of ultraviolet sterilizers. Most companies supplying bottled "spring" water (non-sparkling) are Canadian.

The only Canadian company manufacturing point-of-use water systems for laboratory use is Zenon Water Systems Inc. These systems are now being exported to the United States and sold by Corning Glass under the Corning brand name.

In total the point-of-use market in Canada accounts for approximately $40 million in end-user sales including equipment, expendables, and bottled water.

Trends and Opportunities

In general, the market for domestic water treatment equipment is expected to grow at over 15 per cent annually through 1995. Subsequent growth will depend on how quickly municipalities adopt treatment methods that provide adequate removal of toxic and persistent organics. Because the technical requirements for household units are not high, Canadian companies could displace imported units merely by applying innovative product design.

Water Supply and Distribution

A "water supply system" refers to all equipment used to collect water and distribute it to the end user after treatment. This equipment includes collection systems, water lines, pumping stations, and the numerous minor components that go into a delivery system. Because most of these parts have many other uses, data specific to this sector are almost non-existent. The parts are manufactured by corporations and assembled into water supply systems by the engineering construction contractors.

Overview of Canadian Industry

Canada has a reputation throughout the world for high standards in the design and

construction of municipal services. Much of the material used to construct water supply and distribution systems is produced in Canada.

About one-quarter of the total expenditure on large-scale water-supply and treatment systems represents the manufacturer's price of equipment (before installation); the remainder is spent on piping, appurtenances such as buildings and general merchandise, construction, and professional services. Approximately $1.2 billion was spent on these systems in 1985, and this should increase to $1.8 billion by 1992.[5]

Trends and Opportunities

The greatest technical advances in water-supply systems have been in the use of new construction materials to obtain corrosion resistance, longer service life, greater strength-to-weight ratios, and ease of construction.

Although the water-supply industry provides much of the employment in the whole Canadian water resources industry, and relatively large expenditures are needed to replace ageing and deteriorating systems, it is unlikely to benefit much from increased scientific research. Neither can advances in this industry enhance the quality of life in Canada to the same extent as technological advances in water desalination or in wastewater treatment.

3. ECONOMIC IMPACT OF THE WATER RESOURCES SECTOR

As part of its policy to contribute more effectively to Canadian economic development while fulfilling its primary mandate of environmental conservation, Environment Canada is reviewing the level of employment in the environmental protection industry and the level of investment by subsector, and is compiling an inventory of environmental protection firms. A report was scheduled for May 1987. This work will permit a more systematic assessment of the impact of environmental policy on industry participants.

Environment Canada is not alone in its interest in these topics. The federal Department of Regional Industrial Expansion (DRIE), Machinery and Electrical Branch, has been attempting over the past several years to compile an inventory of firms and their capabilities in this field, but to date the work remains incomplete. In Quebec the Ministry of Industry and Commerce commissioned a study by the Association québécoise des techniques de l'eau (AQTE) to assess technologies, equipment, vendors, and research and development activities, and released it in March 1987. And in Ontario, the Association of Pollution Control Equipment Manufacturers has recently begun to compile an inventory of members' capabilities.

However, despite the recent flurry of information-gathering, sound data covering most aspects of the water-resources industry are still lacking for the following reasons:

- Products manufactured by the environmental protection industry are covered by no single standard industrial classification (SIC) code.
- Some recent technology-based products are not accurately covered by any SIC code, for instance, water desalination equipment.
- The components (accounting for most product expenditures used in the sector) are not used exclusively for environmental applications. There are excellent statistics on the production, sales, import, and export of such things as pumps, pipe, valves and fittings, compressors, and tanks, but these statistics do not show how these components are used. Such pieces of equipment are fundamental building blocks not only for the systems discussed here, but also for industrial fluid transport and processing, energy recovery and refining, and industrial and utility boilers, cooling systems, and so on.

These problems must be taken into account when drawing conclusions based on data from Statistics Canada, Canada Customs, and the U.S. Department of Commerce.

Employment

It is difficult to determine the exact number of jobs in Canada that stem directly from the manufacture and use of equipment for treating water and wastewater. However, one estimate places the number of jobs in Canada's environmental protection industry at between 104 500 and 129 000.[6] Table 3 shows the distribution of these jobs by activity.

Four of the activities are of particular interest to this study: government environmental protection (particularly public servants engaged in technology development), manufacturing water-pollution control equipment, building treatment facilities, and corporate environmental protection.

An accurate determination of the number of person-years and other resources committed to water-pollution control by governments can be obtained by examining program objectives within the relevant ministries.

Direct Investment

The unquantifiable benefits of a clean and healthy environment cannot be overlooked in assessing the value of direct investment in hardware, services, and plant operation. In strictly economic terms, it is often thought that investment by industry and government in what are seen as nonproductive areas of

Table 3. Jobs in the Canadian Environmental Protection Industry, 1986

Government environmental protection	
Federal	5 100
Provincial	6 500
Municipal (operating and regulatory)	21 100
Construction of treatment facilities	9 300-28 800
Corporate environmental protection	10 000-15 000
Manufacturing of pollution-control equipment	
Air	2 000
Water	8 500
Solid waste disposal	26 000
Liquid industrial waste disposal	6 000
Recycling	8 000
Consulting/engineering	2 000
Total	104 500-129 000

Source: William M. Glenn.[6]

pollution control results in a net drain on the whole economy. However, it does not take much imagination to see that in the long term this investment will help to keep Canadian industry competitive by converting resources cleanly and efficiently into saleable products. Even in the short term, direct investment in pollution control creates a high ratio of jobs per dollar invested; each $50 000 to $100 000 invested creates one job.[7]

Table 4 shows municipal construction costs for systems that collect, treat, and distribute water and treat wastewater in 1980-85. Total aggregate expenditures have remained relatively stable, rising less than 15 per cent over the period.

Based on the Ontario Ministry of the Environment's estimate that 26 per cent of the cost for sewage systems, treatment plants, and connections goes for uninstalled water and sewage treatment equipment and on the data contained in Table 4, I estimate total annual equipment expenditures in Canada for municipal treatment systems at about $275 million annually.

Although accurate data for industrial expenditures on water-pollution control equipment are more difficult to acquire, Corpus Information Services, using industrial claims for accelerated capital cost allowance, estimates annual spending of almost $100 million. An additional $80 million is spent on water treatment.[8]

Table 5 summarizes estimates by Muir[9] for Environment Canada of the cost to municipalities and large industries of meeting the effluent standards that are now being implemented in Ontario through the municipal industrial strategy for abatement (MISA) program and are being considered by other jurisdictions. Most of the industrial data in the table are only for Ontario industries. If other provinces impose similar standards, the figures given may be understated by half. The municipal and industrial data in the table apply only to the expansion and upgrading of existing

Table 4. Total Value of Municipal Construction in Canada on Water and Sewage, 1980-85

	1985 constant $000 000					
	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Tile drains, storm sewers, and drainage ditches	504	580	513	513	494	503
Water mains, hydrants, and services	543	607	605	571	617	650
Sewage systems, disposal plants, and connections	664	665	754	743	755	753
Water pumping stations and filtration plants	261	269	340	373	322	350
Water storage tanks	24	24	31	30	34	36
	1996	2145	2243	2230	2222	2292

Source: Statistics Canada, Construction in Canada, 1985, Ottawa, 1986, cat. no. 64-201, 16.

plants and do not take into consideration the aggressive municipal plant-construction program in Quebec or future new-plant construction elsewhere. It is not known how quickly these expenditures will be made. However, the Ontario Ministry of the Environment's schedule for MISA calls for compliance with new discharge regulations by all major industrial categories listed by 1990. The portion of total expenditures to be spent on manufactured equipment is conservatively estimated at 26 per cent, the remainder being for construction and materials (concrete, steel, buildings, and so forth) and professional design and construction management services.

Using the data in Table 5 and assuming that the projected expenditures for improving and upgrading existing facilities will occur by 1992, that Ontario will make up 50 per cent of the market for industrial treatment facilities, that the current level of new plant construction will continue (primarily in Quebec), and that equipment will make up at least 26 per cent of total expenditures, I estimate that the market for water and wastewater treatment equipment in Canada will grow from the current $455 million to almost $600 million annually by 1992.

Trade Balance in Water Resources Equipment

It was estimated above that the Canadian market for manufactured equipment in the water resources sector (as defined for the purposes of this report) is currently $455 million annually and is expected to grow to at least $600 million by 1992 primarily because of continued strong plant construction in Quebec and the high cost to industry of meeting MISA and other regulations.

Domestic production does not even meet Canada's current demand for treatment equipment. Table 6 shows that imports classified by Statistics Canada as "water and sewage

Table 5. Short-Term Capital Expenditure Requirements

Group	Number of Plants	Capital Investment Required ($000 000, 1986)	Jobs Created by Capital
Municipal sewage treatment[1]		1 300	13 000-26 000
Municipal water treatment[1]		1 600	16 000-32 000
Pulp and paper	78	190-350	1 900- 7 000
Iron and steel	9	30- 65	300- 1 300
Metal mining and refining[2]	27	135	1 340- 2 700
Organic chemicals[2]	22	110	1 100- 2 200
Inorganic chemicals[2]	14	28- 70	280- 1 400
Electric power generation[2]	5	10- 25	100- 500
Metal finishing and fabricating[2]	9	18- 45	180- 900
Petroleum refineries[2]	7	35	350- 700
Other major dischargers to waterways[2]	75	150- 375	1 500- 7 500
Dischargers to municipal plants[2]	12 000	120	1 200- 2 400
		3 726-4 230	37 250-84 600

[1] Data from Federation of Canadian Municipalities.
[2] Includes Ontario plants only. Estimates unavailable for other provinces.

Source: T. Muir.[9]

treatment equipment and parts," rose an average of 17 per cent a year between 1980 and 1986. Yet as Table 4 shows, total expenditures on construction of water and waste treatment facilities were relatively constant over the same period. This suggests that Canadian domestic shipments of this type of equipment have declined over the 6 years. Unfortunately, Statistics Canada information on domestic production in this sector is fragmented and incomplete.

Data from the U.S. Department of Commerce[10] indicate that the United States exported $617 million of water resources equipment to Canada in 1984. The comparable figure in 1980 was $600 million. However, these figures bear virtually no relationship to those of Statistics Canada (Table 6), because the United States data include categories excluded from those of Statistics Canada, such as irrigation equipment, well drilling equipment, pumps, pipe, and fittings.

In light of the above it is possible to estimate only crudely the proportion of the Canadian market for manufactured equipment met by domestic products. Although Statistics Canada's figures for imports and domestic production may be too high, its estimate of the ratio between the two is probably reasonable; that is that domestic production now supplies about 55 per cent of the market but its market share is declining. This estimate is supported by Glenn.[6]

Table 6. Canadian Imports of Water and Sewage Treatment Equipment by Country of Origin, 1980-1986, ($000)

Country of Origin	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Australia	0	0	0	0	0	0	42
Austria	0	1 151	675	8	0	26	130
Belgium	0	5	0	0	94	0	0
Benin	0	0	0	0	0	0	12
Brazil	0	0	0	47	50	0	0
Denmark	1	0	267	7	106	170	44
Finland	0	620	37	3	36	0	169
France	4	26	179	63	93	396	272
Germany	55	297	232	139	375	620	1 872
Hong Kong	33	28	29	47	50	38	26
India	26	0	0	0	0	0	0
Israel	0	3	0	1	3	22	19
Italy	138	139	12	62	100	299	361
Japan	260	121	147	82	1 786	156	215
Netherlands	152	184	41	152	490	467	428
New Zealand	0	0	0	7	0	0	0
Norway	74	21	7	7	5	29	4
Portugal	0	0	0	0	0	0	50
Spain	0	0	0	7	0	42	38
South Africa	0	0	0	0	0	22	0
Sweden	33	16	33	65	123	21	14
Switzerland	248	28	49	2 704	34	100	242
Taiwan	9	4	15	0	0	211	266
United Kingdom	379	207	220	519	1 378	907	4 084
United States	20 228	26 550	32 487	29 844	36 226	43 728	43 890
Total	21 640	29 400	34 430	33 764	40 949	47 254	52 178

Sources: Statistics Canada, Imports Merchandise Trade, 1986, (Ottawa: Statistics Canada, 1987), cat. no. 65-203, 732; and Statistics Canada, Imports by Commodities, December 1986, (Ottawa: Statistics Canada, 1987), cat. no. 65-007, 43(12), 398.

Statistics Canada's data on export merchandise trade do not include a separate category for water and wastewater treatment equipment, which is included with with other categories such as firefighting equipment under "safety and sanitation." Therefore, no reliable export data are available. However, I doubt that exports exceed $30 million annually.

Profile of Private-Sector Firms

There are about 400 firms in Canada that in some way provide hardware for water-quality improvement. These firms fall into three categories: equipment manufacturers, manufacturer-affiliated branch offices, and independent distributors or manufacturers' representatives.

The manufacturer-affiliated branch office is usually just a sales office, but in some instances it does assemble and install products. These branch offices are normally affiliated with a foreign manufacturer (usually American) and seldom have a mandate to carry out any research or new product development. Komline-Sanderson of Brantford, Ontario, is a notable exception; as a subsidiary of a company headquartered in New Jersey, the Canadian operation developed a small vacuum press and manufactures it for worldwide distribution.

Manufacturers' representatives and distributors are an important link in this market, as they are in many markets for industrial products. These organizations are typically small (fewer than 10 people) and handle a variety of complementary products from various manufacturers, domestic and foreign. They are generally neither equipped nor rewarded for any technology development.

Manufacturer-affiliated branch offices and manufacturers' representatives and distributors make up most of the approximately 400 firms in this sector. But their restricted mandate and technical capability limit them to a minor role in any attempts by Canadian industry to capitalize on the R&D activities of government and the universities.

Most of the commercialization of technology that has taken place in Canada has been done by the 30 or so firms that now manufacture equipment and the others that once did. Based on personal observations, I offer certain general statements about these firms that I believe can be useful in determining how best to encourage improved commercialization of technology:

- They were built upon a single technology or competitive advantage.
- They are small by international standards for this industry, typically employing fewer than 50 people.
- Those that are Canadian-owned are generally not part of larger companies, although recently several formerly independent Canadian companies have been bought by larger U.S. firms.
- They are quite young, and there is a relatively high level of financial risk resulting from the pressures of a cost-competitive industry and a small equity base.
- Their profits are low because of the high level of competition in virtually all segments of the industry. The exceptions are firms involved in specialty water and wastewater treatment chemicals, an area so far not subject to severe price competition.
- The Canadian-owned firms are typically private companies, generally under-capitalized; this limits in-house research and growth.
- The Canadian-owned firms are adequate in technology and product quality, but have limited access to international distribution; this tends to make production volumes low and cyclical and production costs high.

These observations point to some fundamental differences between Canadian firms and similar firms in the United States and Europe. Whereas Canadian companies are typically small and specialized, based on a single (or at least narrow) technical capability, the dominant U.S. environmental equipment firms (such as Rexnord Corp., Linkbelt, Graver, and Zimpro) offer a fairly broad range of products. This is particularly true of firms in the municipal water and wastewater treatment markets. Also in the U.S. and Europe there is a second tier of manufacturers that specialize in a

particular treatment (such as solids separation, dewatering, or aeration) and provide a variety of technologies as process options. For example, Komline-Sanderson, Parkson, and Arus-Andritz all offer belt presses, vacuum filters, centrifuges and flotation thickeners to meet virtually any municipal or industrial dewatering application. However, it is noticeable in the United States and elsewhere that smaller specialty firms are increasing their market share at the expense of the generalists, because they have clearly identifiable and superior technology or a better understanding of the requirements of their special market niches. Given this trend, opportunities will continue to exist and even increase for existing and new Canadian companies.

A second reason that some leading American firms are being overtaken is that many of them are either subsidiaries of, or are otherwise affiliated with, large chemical conglomerates. During the late 1960s and 1970s, many large companies saw the environmental sector as an area of future growth and invested in environmental activities to develop or acquire technology and market share. The result has been intense competition, a levelling of market growth, and lower than expected profitability. The world market for environmental protection equipment experienced very rapid growth during the 1970s. But there was a levelling or even a slight decline during the early 1980s because of generally poor economic conditions and a declining political will to address (and fund) environmental programs. This led to a divestment by the very large companies and a new emphasis on the more specialized technology- or application-oriented companies.

The developments described above suggest that Canadian firms are well positioned to increase their share of the market for water and wastewater treatment equipment. However, technology will play a key role in determining the winners and losers in this industry. If Canadian firms are to develop or maintain a position of technical advantage, given their relatively low level of capitalization and internally generated funds for research and development, the best possible synergistic use of all research activities in this country must be a priority.

Assessment of Canadian Technology Base

There is a large number of different technologies that can be used in water and wastewater treatment. They may be classified as: adsorption, advanced separation (including dewatering and solidification), biological processes (including biotechnology and advanced bioreactor design), on-line instrumentation and computer control or plant automation, destruction or treatment of removed solids, and treatment chemicals, resins, and polymers. Below, each of these technology classes is examined with respect to the reasons for its future importance, the current state of Canadian firms in each area, and the research needs within each class.

Canada's Position in Key Technologies

Adsorption

Adsorption is a process whereby compounds are removed from water or wastewater by causing them to attach to the surface of a material. These materials generally have a very high ratio of surface area to volume.

Adsorption is a particularly important technology for several reasons. The increase of synthetic organic compounds in potable water and industrial wastewaters has created the need for more effective removal than provided by conventional filtration. Adsorption using activated carbon has demonstrated good capability. Additionally, the development of adsorptive materials that can selectively remove particular groups of elements or compounds will further expand the usefulness of adsorption technology.

For large-scale water and wastewater treatment the most commonly used adsorption material is activated carbon. This product can be used in either a granular or a powdered form and can be regenerated by heating in an oxygen-starved environment. Although there are several carbon suppliers in Canada, the advanced use of adsorption in municipal wastewater treatment is not practised. A number of plants in the United

States and Europe remove synthetic organics by adsorption in the later stages of wastewater treatment. No Canadian industries are as yet applying selective adsorbants for industrial water or wastewater treatment.

The process of adsorption, loading rates, surface phenomena, and removal efficiencies are not well understood, and this has led to several notable plant failures through inadequate design. Composite adsorptive materials could be very useful in treating industrial waste and water recycling but the topic needs a great deal of additional effort. Research in Canada is led by McMaster University.

Advanced Separations Technology

Advanced separations technology encompasses a wide spectrum of physical processes for efficiently removing contaminants from water. The many technologies in this class include advanced filtration materials, membranes, and centrifuges.

Regulations on the discharge of substances and the quality of potable water are becoming more stringent, and whereas gravity separation and conventional filtration effectively remove many contaminants, more advanced separation methods are becoming increasingly necessary to reach the required standards and to make practical industrial reuse of water.

In Canada advanced separations technology is dominated by foreign firms. Leading names in the Canadian market such as Alfa-Laval, Fram, Pennwalt, Sharples, Sweco, Abcor, Ecodyne are all foreign-based and carry out little technology development in Canada. Dorr-Oliver Canada Ltd. of Orillia, Ontario, a prominent firm in the separations market, was recently bought from its American parent company, Dorr-Oliver Inc., Stamford, Connecticut, by Toronto investors. However, for the most part Canadian firms are specialty-product suppliers with a regional focus.

Research needs are primarily in materials development including separation membranes and applications. The optimization of equipment design is an ongoing function of any hardware-intensive process.

Biological Processes

Biological processes are used extensively for municipal wastewater treatment. Sewage is broken down by biological activity at a relatively high rate in a controlled environment. The activity can be either aerobic (bacteria require oxygen) or anaerobic.

Biological treatment is simple, efficient, and cost-effective. However, improvements in plant performance and energy efficiency can still be made through advanced biological reactor designs, better bacteria strains, and better understanding and control of process kinetics. The development and application of new bacteria strains and biological reactors to treat industrial wastes that are difficult to process using conventional methods also holds excellent promise.

Of the six types of technology examined here, biological processes is probably the one in which Canadian industry is best able to satisfy the Canadian market. There are several reasons for this. Equipment in this area is normally generic (aeration devices, pumps, motors, diffusers, and blowers) and is supplied as components assembled by a construction contractor to a consulting engineer's specifications. Several Canadian firms are active in supplying the small, pre-engineered, assembled package plants widely used for biological treatment.

It is likely that the development or selection of bacteria that can degrade or at least withstand a greater variety of industrial wastes will result in significant progress in biological treatment. Reactor designs using fixed- or floating-bed techniques also show excellent promise of higher biological efficiencies. However, little is being done by Canadian industry toward a quantum step forward in either new strains of bacteria or novel types of reactor.

Instrumentation, Computer Control, and Plant Automation

This technology has to do with measurement and control techniques that can improve various unit operations in the treatment process. More sophisticated control relies primarily on advances in measurement techniques, electronics, and information processing.

Significant gains can be made in the effectiveness of existing water and wastewater treatment processes simply by improving the way they are operated, individually and as a system. Environment Canada researchers estimate that an investment of $300 million in instrumentation, plant automation, and process improvement would provide improvements in efficiency equal to $1 billion of equipment upgrading and plant expansion that would otherwise be required.

Standard measurement instruments and sensors that can collect data within treatment plants are primarily the domain of foreign companies such as Badger, Leeds and Northrup, Hewlett-Packard, and Rockwell International. However, there are opportunities to develop the specialty devices and software necessary to control plant operation based on the information collected. Canadian firms are competing in this area, which is developing quickly and is less subject to domination by large foreign corporations. Until its bankruptcy in 1986, Grey Engineering of Markham, Ontario appeared to be making significant market penetration.

For virtually every treatment process there is still the opportunity to develop improved automated control methods.

Destruction or Treatment of Removed Solids

These technologies include among others incineration, solidification, chemical oxidation, and neutralization.

The volume of solids generated from the treatment of water and wastewater is increasing quickly as the level of treatment increases. It is important to continue to develop and use safe, efficient mechanisms for disposal of residues.

Canadian industry holds a reasonably strong position in this sector. Tricel of Mississauga operates an incinerator for industrial sludges in Sarnia. Bow Valley Resources has committed more than $10 million to develop a deep-well oxidation process. Petrosun has licensed a technology developed by Environment Canada to convert municipal sewage sludge to usable fuels. Crown corporations in Alberta and Ontario have also been active in the development of treatment and destruction technologies for residues. Solidification research is being conducted by several industries and by government.

Residue management can take many forms, most of which require additional research with respect to their long-term impact on the environment. Topics include the release of toxic substances from incineration, long-term leaching of solidifed materials, and on-site treatment methods.

Treatment Chemicals, Resins, and Polymers

Numerous chemicals are commonly used in water and wastewater treatment to disinfect, coagulate, oxidize, deionize, or condition. Some of the chemicals used are bulk commodities such as chlorine, lime, and ferric chloride. Others are considered specialty chemicals such as the polymers used in coagulation.

The efficiency of a number of separation unit processes, including gravity separation, depends heavily on the correct selection of chemical coagulation aids to match the characteristics of the water and contaminants.

Canadian companies hold a strong position in the commodity chemical market for water and wastewater treatment (chlorine, alum, ferric chloride, etc.) but a relatively weak position in specialty chemicals. The leading companies supplying specialty chemicals in Canada are large multinational firms including Nalco, Allied Calloids, Allied Chemical, and Cyanamid. In most cases the specialty chemicals sold in Canada are also manufactured in Canada either under licence or in a Canadian plant owned by the multinational firm. Alkaril Chemicals is one

Canadian company that manufactures specialty chemicals independent of the larger multinationals. Alchem, located in Burlington, Ontario, is an example of a company that manufactures specialty chemicals for the water and wastewater market under licence from a multinational (Nalco).

The continued development of more effective specialty chemicals, particularly coagulant filter aids and sludge conditioners, could markedly improve the efficiency of unit processes.

5. CENTRES FOR APPLIED WATER RESEARCH IN CANADA

Water research is carried out in Canada by the federal and provincial governments, universities, and the private sector. These four groups spent about $55 million in 1983, the largest spender being the federal government. Provincial governments support research to a lesser extent but play a much larger role in financial help to municipalities for plant construction. Many provincial governments are also buyers and users of the products and services of the water resources industry, inasmuch as they frequently own and operate small plants for municipalities.

Government and university research on water addresses a wide variety of issues. Mitchell and McBean[11] classify water research as follows: the nature of the water, the water cycle, water supply augmentation and conservation, water quantity management and control, water quality management and protection, social and economic aspects, resources data, engineering works, and environmental management and protection.

Of these nine topics the only ones of consequence for the Canadian technology-based manufacturing sector are water quality management and engineering works. In 1983 some $28 million was spent on research into water quality management and protection and an additional $1.8 million on engineering research by government, industry, and the universities. However, of the $28 million spent on water quality, only a small part, perhaps as little as $8 million, was on research into improved methods for water and wastewater treatment.

This level of research on topics having commercial potential is shockingly low, given the large and growing Canadian demand for technology-based water and wastewater treatment products. This research expenditure is less than 1.9 per cent of the annual product sales. To compound the problem, this low level of research spending is occurring at a time when Canada's position in commercial technology is declining, as is the actual market share of Canadian companies.

A realistic spending target for this applied research would be about 5 per cent of annual sales of water and wastewater treatment products. On present sales, that would amount to $22 million, rising to over $30 million annually witnin 4 years -- a three- to four-fold increase over the current level.

In 1984 research by the federal government accounted for 51 per cent of spending on all types of water research. In addition, the government provides funds for work by other bodies, so that it actually provides over 72 per cent of all money spent. In 1984 industry spent $5.6 million, which included $2.4 million of its own funds. However, whereas much of the industrial expenditure is related to treatment technology, there is only one significant federal institution working on treatment technology.

Government Institutions

The lead federal government agency on water-related research is Environment Canada. Environment Canada had a 1986-1987 budget of $745.3 million, employs more than 10 300 people, and manages 34 separate programs. However, Mitchell and McBean[12] estimate that in 1983 only about $40 million in federal funds was spent on water-related research, including the research done by Environment Canada.

The National Water Research Institute, located in the Canada Centre for Inland Waters at Burlington, Ontario, is primarily involved in research into water quality. However, virtually all its work consists of the collection and interpretation of data to identify problems; there is virtually no effort to develop technology for remedial action.

The Wastewater Technology Centre, at the same location, is operated by Environment Canada's Environmental Protection Service. The centre is the only federal institution involved primarily in the assessment and development of technology to treat wastewater and manage residues. The centre has a budget

of about $3 million and has ongoing programs in novel disposal of biological sludges, bioreactor development, instrumentation and plant automation, and sludge dewatering. There is no similar technology centre for development of technologies to treat potable water.

The Freshwater Institute in Winnipeg is operated by Fisheries and Oceans Canada. This group is primarily involved in the study of freshwater fish habitats, and is not likely to contribute much to technology for improving water quality.

Environment Canada's Atmosphere Environment Service has several ongoing programs relating to the water cycle.

Health and Welfare Canada carries out research into the quality of potable water. However, the budget for this work has never been high and has been shrinking steadily in recent years.

Other federal departments do little water-related research. Budget cuts forced the National Research Council to discontinue its standing committee on the environment. Some of the research by Energy, Mines and Resources Canada in resource extraction touches on disposal of wastewater.

Among the provinces, only Ontario and Quebec spend significant research dollars on water quality. But provincial research consists mostly of collecting data and identifying problems in order to write appropriate standards and regulations for water quality -- a responsibility given to the provinces under the Canadian constitution.

Provincially supported research groups, such as the Ontario Research Foundation, Saskatchewan Research, the Alberta Research Council, and the British Columbia Research Council, are not heavily involved in the development of water and wastewater treatment technology. However, they are sometimes involved in water-quality research. For example, the Ontario Research Foundation carried out a project to develop a rotating biological contactor. Subsequently two of the project personnel started a firm to manufacture and sell this equipment.

It is estimated that in 1984 Canadian municipal governments spent a total of $0.9 million[13] on water research. Much of this was on new-product assessment and individual plant trials. The extent to which a municipality becomes involved in water and wastewater research depends largely on the municipality's chief engineer. For example, Metropolitan Toronto, as a general rule, does not take part in technology development, product demonstration or internal research, preferring to serve the public through conventional technology.

Universities

Six Canadian universities have at least four full-time faculty members engaged in research on water and wastewater treatment and a research program with a sizeable number of graduate students. Current university research on water generally aims at a better understanding of treatment mechanisms, the use of models to optimize treatment processes, and developing novel treatment methods for inherently difficult waste-treatment problems.

The University of Alberta at Edmonton has a group with particular expertise in the treatment of potable water and of water and wastewater in cold regions. The University of Toronto carries out significant research into biological processes, in particular using advanced computer modelling. Ecole Polytechnique in Montreal specializes in potable water treatment and physical and chemical wastewater treatment processes. The University of British Columbia is active in pollution-control research. A group at McMaster University headed by Dr Gilles Patry and Dr Marios Tsezos specializes in bio-adsorbants and dynamic modelling. At the University of Waterloo a group headed by Dr John Cherry specializes in groundwater contamination.

Total university expenditure on water research in 1984 was almost $15 million. Much of this funding comes from the Natural Sciences and Engineering Research Council. However, some funding also comes from Supply

and Services Canada and the Medical Research Council.

University research is a vital first step in the development of Canadian technology in water use and management. However, university and industry personnel frequently refer to certain problems:

- Grants for water research (and many other fields) are becoming more difficult to obtain. This has two results. The first is that it is difficult to sustain a specialized research program. Funding bodies perceive a need to disperse their limited funds widely and on many different research subjects. In the early 1980s a highly respected research team at McMaster University was gradually disbanded because it lacked funding. The second result is that research is concentrated in the critical and early testing stages of technology development, which needs less funding than later stages.

- University research (like much other research that depends on government funding) stops short of being of immediate commercial value. There are several reasons for this. Industry seldom participates in or funds water research in the universities. Additionally, the shortage of funds for water research results in a concentration on bench-scale work or theoretical modelling rather than on pilot-scale testing that can incur costs for fabrication and operation. Third, there is a conflict between commercial and academic objectives.

- Firms in Canada's water resources industry are few and generally small and undercapitalized. As a result funding links have not been established with universities. Additionally, these firms are not well positioned to fill the research void between the termination of academic (or "pure") research and commercial viability.

Private Sector

Research in water and wastewater treatment is carried out by very few private firms. Mitchell and McBean's 1985 estimate that only $5.6 million was spent by industry in this research area is quoted above. There are several possible explanations for this low expenditure:

- Most Canadian subsidiaries of foreign firms do not conduct research in Canada.
- Canadian companies concentrate on product revision and upgrading, which have an immediate payback, rather than long-term research.
- Federal and provincial governments contract out a fairly low proportion of their total research expenditures in this area; of the funding provided by the federal government, most goes to academic rather than industrial research.
- Large Canadian companies in the chemical, petroleum, and resource sectors that carry out significant internal R&D have not diversified into the environmental field.

By 1986 Canviro Engineering Consultants in Kitchener, Ontario, had developed a good reputation in contract environmental research, particularly in advanced biological treatment. However, in that year, Canviro was acquired by CH2M Hill, an American engineering consulting and design company. Since then, Canviro has turned from contract research toward conventional municipal engineering design contracts. This will further decrease the level of research in water and wastewater treatment.

Viewed collectively, the information available on the Canadian water resources industry reveals a serious void between Canada's research and commercial activities. This is important because the benefit to be derived from the industry is very large in jobs, decreased imports and increased exports of manufactured goods, and technological advances. However, to achieve the benefits that would result from meeting Canada's growing needs in the area with domestic products, it is important to reverse the current trends of decreasing market share for Canadian manufacturers and lack of commercialization of new technology.

Framework of Participants

Within the Canadian water resources industry there are a number of different stakeholders, each with different roles, objectives, and motivations (Table 7). Several of these characteristics work against the maximization of the commercial benefits from research because:

- Stakeholders' objectives are not always consistent with complete transfer of technology.
- Stakeholders' objectives in general do not require that stakeholders interact with each other.
- The ability to commercialize technology lies almost exclusively with manufacturers, yet the links between manufacturers and other stakeholders are weak.
- There is a lack of funds for application-oriented research.

Recommendations to Facilitate Technology Transfer

Possible solutions to the lack of commercialization of water and wastewater treatment technology fall into three categories:

- mechanisms to stimulate industrial research and development
- mechanisms to improve cooperation between industry and university researchers
- mechanisms to improve viable technology transfer from government institutions to the private sector.

Ways in which the federal government has attempted to stimulate industrial R&D include programs such as PILP (Program for Industrial Laboratory Projects), IRAP (Industrial Research Assistance Program), UP (Unsolicited Proposals), tax incentives through SRTCs (Scientific Research Tax Credits) and most recently the scientific research tax portion of the investment tax credit.

These programs are available to many industries in addition to those that treat water and wastewater, and to some extent their effectiveness varies by industry. As stressed earlier, the greatest need in the water resources industry is for better transfer of technology from the laboratory to the marketplace, through demonstrations of products and processes and applications testing.

Unfortunately, PILP and UP expressly avoid these components of technology development.

Present tax policy also discourages the developmental component of R&D. The revised definitions of R&D issued by Revenue Canada in the fall of 1986 severely limit the types of product development eligible for R&D tax credits.

If the federal government is to stimulate research and development in water resources by the private sector, incentives must:

- include pilot and full-scale product development and demonstration as a natural progression of research
- include market assessment and business planning as a parallel activity to product R&D and make these activities eligible for support

Table 7. Profile of Industry Participants

Stakeholder	Current role in technology circle	Stakeholder's objectives	Stakeholder's principal strengths	Stakeholder's constraints or limitations
Private sector manufacturers	Conduct short-term product R&D Obtain technology from outside sources Manufacture, sell, and refine equipment	Offer superior or competitive technology Operate profitably to sustain business activities Fill a market need	Awareness of market need Economically apply technology Develop technology from concept to product	Limited research funds Narrower knowledge base Competitor information restricted
Universities	Problem characterization Process modelling Bench-scale technology development and testing	Advancement of scientific understanding Educate others Obtain research funds Improve individual capability	Technical excellence Energetic research staff, graduate students Current knowledge	Focused long-term research difficult Development aspects of R&D restricted
Industrial users of water	End users of developed technology Provide pilot sites for development activities Occasionally develop technology	Provide high-quality water or wastewater effluent efficiently	Use of technology Evaluate effectiveness	No mandate for new product development Funds restricted in operations
Government	Problem characterization Information to support policy formulation Some application-directed research	Program maintenance Develop good environmental policy Assist target industry sectors	Greater resources Access to broad range of expertise Good potential information clearing house	Mandate not consistent with technology application development Lack of flexibility No incentive to commercialize technology

- accommodate the limited cash available to the new or small operating companies that characterize this sector.

Cooperation between researchers in industry and government researchers is improving. In particular a number of industry-university joint projects are under way in computer science, communications technology, and advanced materials. These projects are being encouraged by provincial governments on the grounds that they work toward creation of centres of excellence. Universities see links with industry as a means to get more funding while increasing the relevance of their research. Industry sees links as a way to ensure rapid access to technological advances.

However, the links between private-sector water and wastewater treatment companies and university researchers are not nearly as strong as in some other fields. There are two primary reasons for this. First, Canadian firms are generally too small to invest in research unlikely to yield results within 3 years. Second, there are few, if any, universities in Canada that could be considered centres of excellence in that they are strong in water-related technologies.

The following steps could improve the links between university and industry in this field:

- The establishment by provinces of centres of excellence in water and wastewater treatment.
- The provision of financial incentives to industries undertaking joint ventures with universities.
- The encouragement of universities to take an equity position in new ventures resulting from their research, so that they could benefit from a product's commercial success.

The transfer of technology from government labs to the private sector is an ongoing problem. To help tackle the issue Canada Patents and Development Ltd. (CPDL) was formed to ensure that innovations from federal research are patent-protected and to make the technology available by licence to industry. Some difficulties remain, including:

- CPDL, as the owner of the technology, forms a barrier between the licensee and the researchers who possess the expertise.
- Technology made available for licence is often not fully developed. This effectively transfers significant technical risk and expense to the licensee.
- CPDL is an agent rather than a main actor and cannot help financially in advancing promising technology to a licensable state.
- Individual researchers and their departments gain little from the licensing of a successful technology.

Several strategies are possible to improve the transfer of technology from government to the private sector. The most important single factor in successful transition is the continued participation of the researchers in the process. Often government institutions and universities are not flexible enough to permit this, and the researcher is faced with the choice of remaining in government employment and not taking part in the commercialization of the technology or taking a job with the licensee. Since the researchers' long-term interests may not coincide with those of the company, they may remain in government and technology transfer suffers.

To help maintain the original researchers' involvement in technology commercialization projects, several options are available:

- Allow researchers within universities and government research institutions to take leaves of absence in which they can undertake commercial activities while retaining their tenure or seniority position.

- Promote commercialization of research by institutions by establishing "technology hatcheries," in which the institution is an equity partner in a technology-based

start-up venture and provides the use of some facilities and staff to the venture.

- Encourage institutions to contract the services of researchers in a manner that recognizes the general lack of cash in start-up ventures. Acceptance of an equity interest in the venture in exchange for research/commercialization services would be one approach.

Another frequent problem in converting government research to commercial products is simply lack of communication. Even in Canada, it is difficult to introduce technology to potential licensees. This is particularly true in environmental subjects because related research is carried out in many government departments.

It would be valuable for potential licensees to have regular access to a catalogue of research projects underway in government institutions. This would enable firms to become involved at an earlier stage, follow the progress of the work, provide an industry perspective where appropriate, and eventually license the technology with greater confidence.

NOTES

1. B. Mitchell and E. McBean, Water Resources Research in Canada: Issues and Opportunities, research paper 16, Inquiry on Federal Water Policy (Ottawa, 1985), 75.

2. United States of America, U.S. Department of Commerce, International Trade Administration, A Competitive Assessment of the U.S. Water Resources Equipment Industry, Capital Goods and International Construction Sector Group, (Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce, 1985), 1.

3. Environment Canada, Environmental Protection Service, National Inventory of Municipal Waterworks and Wastewater Systems in Canada 1981 (Ottawa: Supply and Services Canada, 1982).

4. Canadian Water Quality Association, Communiqué (Waterloo, Ont., 1986), 5.

5. R.E. Smith, The Pollution Control Industry in Ontario (Toronto: Ontario Ministry of the Environment, 1978).

6. W.M. Glenn, Corpus Information Services, "Jobs and the Environment: Some Preliminary Number Crunching," Alternatives 14(3) (1987), 20.

7. Ibid., 26.

8. Ibid., 25.

9. T. Muir, Some Economic Aspects of Pollution Abatement and Environmental Industries, unpublished report for Environment Canada, Water Planning and Management Branch, Inland Waters Directorate-Ontario Region.

10. United States of America, U.S. Department of Commerce, op. cit., 23.

11. B. Mitchell and E. McBean, op. cit., 10.

12. Ibid., 35-36.

13. Ibid., 35.

The Science Council of Canada is Canada's national advisory agency on science and technology policy. Its primary responsibilities are to

- analyse science and technology policy issues;
- recommend policy directions to government;
- alert Canadians to the impact of science and technology on their lives;
- stimulate discussion of science and technology policy among governments, industry and academic institutions.

Conseil des sciences du Canada
Science Council of Canada

Document d'étude

L'industrie canadienne du matériel d'exploitation des ressources en eau : perspectives de recherche et de fabrication

Bruce A. Fenton

L'industrie canadienne du matériel d'exploitation des ressources en eau : perspectives de recherche et de fabrication

M. Bruce A. Fenton, gérant
Finances et développement de la société
Zenon Environmental Inc.
845, Harrington Court
Burlington (Ontario)
L7N 3P3

Janvier 1989

Les documents d'étude sont des documents de travail que le Conseil des sciences du Canada met à la disposition des personnes ou groupes intéressés, en quantité limitée, pour connaître leurs points de vue.

Le Conseil des sciences du Canada ne souscrit pas nécessairement aux opinions exprimées par les auteurs du présent document.

On peut obtenir gratuitement un exemplaire de

L'INDUSTRIE CANADIENNE DU MATERIEL D'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAU : PERSPECTIVES DE RECHERCHE ET DE FABRICATION

en s'adressant au :

Service des publications
Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe
Ottawa (Ontario) K1P 5M1

This paper is also available in English at the above address.

© Ministère des Approvisionnements et Services, 1988

N° de catalogue SS21-5/1988-4F
ISBN 0-662-95060-7

Les industries canadiennes qui assurent l'alimentation en eau et l'épuration des eaux usées sont fragmentées et mal circonscrites. Elles se prêtent donc mal à des études quantitatives. C'est pourquoi leur importance sur les plans économique et technologique a souvent été sous-estimée. Selon les derniers chiffres publiés par Statistique Canada, l'ensemble du secteur de la protection de l'environnement emploie entre 100 000 et 130 000 personnes dont seulement 40 pour cent travaillent dans les domaines du traitement de l'eau et de l'épuration des eaux usées. Les entreprises de fabrication et de distribution de matériel destiné à l'industrie de l'exploitation des ressources en eau emploient environ 8 500 personnes.

Les investissements directs consacrés au matériel, aux services et aux stations constituent un deuxième indice de l'importance pour l'économie canadienne du traitement et de la dépollution de l'eau. Entre 1981 et 1985, les dépenses engagées pour l'alimentation en eau et l'épuration des eaux usées, y compris la construction de stations d'épuration, de systèmes de captage et de réseaux de distribution, se chiffraient à environ 2,2 milliards de dollars par année. De plus, on dépense quelque 425 millions de dollars par an au Canada pour des produits fabriqués servant au traitement de l'eau et à l'épuration des eaux usées. Et si la tendance au raffermissement des normes relatives aux eaux usées urbaines et industrielles se maintient, le chiffre des dépenses pourrait atteindre près de 600 millions de dollars en 1992.

Il est difficile d'évaluer de manière précise la balance commerciale du Canada dans le domaine des produits fabriqués destinés au secteur des ressources en eau. Mais on estime que les produits canadiens n'occupent que 55 pour cent du marché intérieur et que cette part va décroissant.

Un tel fléchissement d'une industrie canadienne naissante est d'autant plus regrettable que la demande de produits techniques de qualité et efficaces dans ce domaine augmentera en flèche au cours des prochaines années.

La recherche environnementale canadienne jouit d'une renommée internationale. On déplore toutefois le peu de succès obtenu dans la commercialisation des techniques issues de cette recherche. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette situation :

- Seule une part infime des fonds affectés à la recherche au Canada est consacrée au développement de techniques capables de régler les problèmes reliés à la qualité de l'eau. On alloue encore la plupart des fonds à la recherche axée sur la définition des problèmes et la surveillance.

- En règle générale, les entreprises canadiennes oeuvrant dans ce secteur sont de trop petite taille et n'ont pas suffisamment de capitaux pour assumer elles-mêmes le développement technologique à moyen et à long terme.

- Même lorsque la recherche menée par les universités et les gouvernements porte sur des applications, il existe souvent un écart considérable entre la production de prototypes et l'exploitation commerciale.

- Les liens et la collaboration entre les universités ou les organismes gouvernementaux (qui sont responsables de la plupart de la recherche dans ce domaine) et le secteur privé (qui, en bout de ligne, assure la commercialisation des découvertes techniques) sont beaucoup trop ténus pour garantir le transfert efficace de la technologie.

Il est important, pour mettre un terme au déclin de cette industrie au potentiel considérable et pour permettre au Canada d'exploiter au maximum un marché sur le point de connaître une grande expansion, d'améliorer les techniques dont dispose l'entreprise privée. Il est particulièrement important de jeter des ponts entre les laboratoires universitaires ou gouvernementaux et les entreprises privées capables de rentabiliser au maximum les efforts consacrés à la recherche.

TABLE DES MATIERES

Avant-propos 7

1. Introduction 9

2. Description de l'industrie 10
Dessalement des eaux 10
Traitement de l'eau et épuration des eaux usées 12
Traitement sur les lieux d'utilisation 15
Captage et distribution de l'eau 16

3. Importance économique du secteur des ressources en eau 18
Emplois 18
Investissements directs 19
Balance commerciale du matériel d'exploitation des ressources en eau 21

4. Capacité concurrentielle de l'industrie canadienne 24
Profil des entreprises du secteur privé 24
Evaluation de la technologie canadienne 25
La place du Canada sur le marché des principales techniques 26

5. Centres canadiens de recherche appliquée sur les eaux 29
Organismes gouvernementaux 29
Universités 30
Secteur privé 31

6. Modes de commercialisation de la technologie 33
Cadre de participation 33
Recommandations pour faciliter le transfert technologique 33

Notes 37

Tableaux

Tableau 1. Types d'appareils utilisés dans le traitement de l'eau et l'épuration des eaux usées 14

Tableau 2. Nombre d'entreprises oeuvrant dans le secteur de la protection de l'environnement au Canada, 1986 15

Tableau 3. Emplois dans le secteur canadien de la protection de l'environnement, 1986 19

Tableau 4. Valeur globale des travaux de construction au Canada -- canalisations et systèmes d'égouts, 1980-1985 20

Tableau 5. Dépenses en immobilisations qui s'imposent à court terme 21

Tableau 6. Importations canadiennes de matériel d'épuration des eaux d'égout par pays, 1980-1986 22

Tableau 7. Profil des intervenants dans l'industrie des ressources en eau 34

AVANT-PROPOS

Les recherches canadiennes sur l'eau peuvent profiter à plusieurs domaines. Les chercheurs étudient actuellement la neutralisation des matières organiques synthétiques, la décontamination biologique et l'automatisation des stations d'épuration des eaux usées. Les progrès réalisés dans ces domaines nous aideront à préserver notre environnement et à protéger nos ressources hydriques. Ils nous permettront aussi de satisfaire aux exigences d'une réglementation plus stricte en matière de dépollution, d'éliminer une gamme de plus en plus grande de polluants et de tenir compte de l'importance croissante accordée au recyclage des produits et à la récupération de l'énergie.

Les nouvelles technologies issues des recherches sur l'eau pourraient également créer des emplois et représenter une source de revenus. Le marché national des techniques de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées devrait bientôt dépasser les 600 millions de dollars par an. En plus, les possibilités d'exportation sont énormes.

Jusqu'à présent, le Canada n'a pas su exploiter les résultats de ses recherches pour établir une base industrielle solide dans les domaines de l'épuration de l'eau et de la dépollution de l'eau. Mais il n'est pas trop tard, le Canada peut encore tirer profit de sa réputation internationale dans le domaine des sciences de l'eau et s'approprier une bonne part du marché mondial.

Ce document d'étude, un des quatre documents publiés par le Comité des ressources en eau du Conseil des sciences, examine l'industrie canadienne du matériel d'épuration et de dépollution de l'eau, les technologies actuelles et éventuelles dans ces domaines et les rapports entre chercheurs, fabricants et utilisateurs. En fin de compte, le document servira de point de référence à ceux qui veulent participer au développement de l'industrie canadienne des ressources en eau.

J.M. Gilmour
Directeur de l'analyse des politiques
Conseil des sciences du Canada

1. INTRODUCTION

L'eau est une ressource naturelle vitale. Mais les Canadiens ne se rendaient pas compte jusqu'à tout récemment de son importance, rassurés qu'ils étaient par son apparente abondance et son vil prix. Aujourd'hui, les particuliers, les gouvernements et les industries reconnaissent que la planification s'impose dans le domaine des ressources hydriques s'ils veulent assurer une provision d'eau de bonne qualité suffisante pour satisfaire leurs besoins à long terme.

Depuis plus de 40 ans, les scientifiques canadiens sont reconnus mondialement pour leurs travaux sur l'eau et la dépollution. En 1983, le Canada a dépensé près de 56 millions de dollars, soit 2,25 $ par tête, pour la recherche dans le domaine de l'eau[1]. Bien que ces sommes égalent, voire dans certains cas dépassent, celles consacrées par d'autres pays industrialisés à la recherche, cette dépense n'a pas donné lieu à l'établissement d'un secteur manufacturier fort. Plusieurs facteurs expliquent cet état de fait :

- Le Canada a toujours joui d'une abondance d'eau pure. C'est pourquoi le besoin de matériel perfectionné de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées municipales et industrielles ne s'est pas fait sentir aussi rapidement que dans d'autres pays industrialisés.

- Sauf exception, le Canada ne compte pas de grands fabricants de matériel industriel ou de produits chimiques comme ceux dont sont issus dans d'autres pays des producteurs de matériel de protection de l'environnement.

- Le Canada n'a jamais eu de plan détaillé pour favoriser la transformation des résultats de recherches en produits commercialisables.

En 1987, le Conseil des sciences soulignait, dans le cadre de son étude sur la gestion des eaux du Canada, l'importance des techniques d'épuration des eaux. L'objet du présent document consiste à passer en revue le secteur canadien de fabrication de matériel d'épuration et de dépollution de l'eau et à évaluer la capacité de ce secteur de satisfaire aux demandes actuelles et futures*. Nous nous pencherons également sur les rapports réciproques entre tous les intervenants dans la technologie de la dépollution de l'eau -- des chercheurs universitaires, gouvernementaux et industriels aux organismes municipaux et provinciaux chargés de l'approvisionnement en eau et de l'élimination des eaux usées, en passant par les entreprises du secteur privé qui cherchent à utiliser ou à commercialiser les résultats des recherches.

---

* Le document d'étude de John A. Cherry et al., Groundwater in Canada: Overview of Activities and Issues and Recommendations for a National Research Strategy, préparé pour le Conseil des sciences du Canada, traite du problème des eaux souterraines sous le même angle.

2. DESCRIPTION DE L'INDUSTRIE

Le secteur des ressources en eau se divise en six sous-secteurs[2] :

- le dessalement de l'eau,
- le traitement de l'eau et l'épuration des eaux usées,
- le traitement de l'eau sur les lieux d'utilisation,
- le captage et la distribution de l'eau,
- l'irrigation, et
- l'exploration et la mise en valeur d'eaux souterraines.

Bien que le présent document n'aborde pas les sujets de l'irrigation et de la mise en valeur des eaux souterraines, l'examen des quatre autres sous-secteurs permet de juger de l'état de santé de l'industrie canadienne.

Dessalement de l'eau

On entend par dessalement le fait de débarasser l'eau non seulement du sel mais également des autres corps solides solubles qu'elle contient. D'habitude on utilise ce procédé pour transformer de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre en eau potable pour fins agricoles ou de consommation humaine. Le dessalement donne également une eau propre à la fabrication de produits de haute technologie, comme les puces, et à l'alimentation des chaudières à vapeur.

Les principales techniques de dessalement sont :

- **La distillation** : on convertit l'eau en vapeur qui, en se condensant, se sépare des matières (surtout des substances inorganiques en solution, comme des sels et des minéraux) dont le point d'ébullition est plus élevé. Tout simple qu'il soit, ce procédé consomme, dans sa forme élémentaire, une grande quantité d'énergie. Pour être économique sur une grande échelle, la distillation doit être combinée avec des procédés complexes, comme la distillation à effets multiples, la thermocompression ou la distillation à vide.

- **L'osmose inverse** utilise des membranes semi-perméables qui filtrent l'eau en ne laissant passer que d'infimes particules de matières solides en solution. La pression à l'intérieur du système doit être supérieure à la pression osmotique du liquide. L'osmose inverse consomme beaucoup moins d'énergie que la distillation parce qu'il n'y a pas de changement de phase.

- **L'électrodialyse** utilise une charge électrique pour décomposer les sels solubles en cations et en anions. Ainsi, le passage d'une charge électrique sépare les cations de sodium et les anions de chlorure du sel commun (ou chlorure de sodium) en solution dans l'eau.

- **La déminéralisation** s'effectue au moyen de résines échangeuses d'ions. Pour enlever les ions salins dissous dans l'eau, on filtre l'eau à travers une résine échangeuse qui fixe les ions et les élimine de l'eau. A la longue, la résine devient saturée et doit être rechargée.

Les techniques de dessalement trouvent leurs principales applications dans la production d'eau potable. On s'en sert beaucoup au Moyen-Orient pour dessaler l'eau de mer ainsi que dans le sud des Etats-Unis où plusieurs sources d'alimentation sont d'eau saumâtre (c'est-à-dire une eau à forte concentration de sels et de minéraux). Les Canadiens ont rarement eu à recourir à l'eau de mer ou à de l'eau saumâtre pour s'alimenter en eau, et n'utilisent donc ces techniques que pour l'alimentation des chaudières ou pour des procédés spéciaux de fabrication ou des travaux de laboratoire qui nécessitent une eau absolument déminéralisée.

L'osmose inverse dominera tout probablement le marché du dessalement. Mais les techniques membranaires d'ultrafiltration et de microfiltration ont, outre le dessalement, de nombreuses autres applications dans le

traitement de l'eau et l'épuration des eaux usées et dans les procédés industriels. En 1985, la valeur des ventes mondiales de membranes destinées à toutes ces applications dépassait le cap du milliard. On prévoit qu'en 1995, ces ventes se chiffreront à plus de deux milliards de dollars (compte non tenu de l'effet de l'inflation).

Les fonds affectés à la recherche reflètent l'importance croissante de la technologie membranaire. En 1983, le gouvernement japonais instaurait un programme décennal de recherches membranaires et y consacrait 46 millions de dollars. On estime à 70 millions de dollars échelonnés sur une période de six ans le financement accordé en 1986 à un projet conjoint de recherche regroupant des pays européens dans le cadre du programme de recherche et de développement "Euréka". Quant aux fonds consacrés à la recherche membranaire par les multinationales de la chimie (telles Dow Chemical, Du Pont, Celanese, Rohm and Haas, Union Carbide et W.R. Grace) ils totalisent à l'échelle mondiale probablement plus de 15 millions de dollars par an.

Aperçu de l'industrie canadienne

Six entreprises canadiennes fabriquent des systèmes de membranes utilisées dans l'osmose inverse. Mais seule Zenon Environmental Inc. mène parallèlement des activités de recherche et de développement.

Le Canada avait une longueur d'avance dans le domaine des techniques membranaires, mais n'a pas su la monnayer. Le dessalement par osmose inverse est devenu rentable au début des années 60, par suite de la découverte d'une membrane synthétique par Srinivasa Sourirajan à l'Université de Californie à Los Angeles. Il s'est joint peu après au Conseil national de recherches (CNR) à Ottawa où il a mis sur pied une solide équipe de scientifiques qui poursuit les recherches dans le domaine des membranes. Malgré l'excellent travail de ce groupe et la position du Canada au premier rang des sciences membranaires, les entreprises américaines et, depuis peu, japonaises dominent la production commerciale de membranes.

Au moins six entreprises canadiennes fabriquent des systèmes de déminéralisation par lit de résine. Deux de ces entreprises, Gaco Systems et Glegg Water Conditioning, occupent près de 20 pour cent du marché nord-américain, ayant à elles deux un chiffre d'affaires annuel d'environ 40 millions de dollars. Elles doivent leur situation enviable au coût avantageux de l'acier canadien et de fabrication d'acier destiné aux supports ainsi qu'au taux de change du dollar qui les favorise par rapport à leurs concurrents américains. Les systèmes de déminéralisation des fabricants canadiens ont tous comme élément actif des résines fabriquées aux Etats-Unis. Très peu de recherches sont effectuées au Canada sur les résines échangeuses d'ions.

Aucune entreprise canadienne n'occupe une place importante sur le marché de la purification de l'eau par distillation ou par électrodialyse. Il n'y a pas lieu de s'inquiéter puisque la distillation à grande échelle est un procédé en perte de vitesse malgré les efforts pour en diminuer la consommation d'énergie. De même, quoique l'électrodialyse se prête bien à certains procédés industriels de séparation, elle s'avère d'intérêt limité pour le traitement de l'eau : la technique membranaire d'osmose inverse progresse plus rapidement que l'électrodialyse.

Tendances et perspectives

Certaines de ces techniques, notamment celle de l'osmose inverse, sont appelées à servir de plus en plus à la production d'eau potable au Canada, en raison de leur capacité supérieure d'éliminer des matières organiques naturelles et synthétiques de l'eau. Le besoin de techniques performantes de traitement de l'eau s'accentue d'autant que la concentration de contaminants dans les eaux de source ne cesse d'augmenter et que l'on connaît mieux leurs propriétés carcinogènes.

Le nouvel intérêt que l'industrie porte au recyclage des eaux usées et à la récupération des substances qui s'y trouvent ouvre une autre perspective. Cet intérêt découle de la conjugaison de divers facteurs :

- Les coûts croissants de l'eau et de l'évacuation des eaux usées et des résidus liquides dangereux ont milité en faveur d'une diminution du volume des rejets et d'une réutilisation de l'eau.

- Les industries doivent assumer des responsabilités croissantes, parfois non quantifiables, liées à l'évacuation de leurs déchets.

- Les procédés industriels qui éliminent les contaminants des eaux usées au moyen de techniques séparatives permettent des économies de matières premières.

Ces facteurs ont produit un besoin de techniques permettant à une usine de récupérer des matières choisies et d'obtenir une eau de recyclage de qualité équivalente ou supérieure à celle de l'eau brute dont l'usine s'alimente normalement. La recherche fondamentale ne peut répondre à ce besoin; il faut des travaux d'application qui montrent la faisabilité et la rentabilité d'appliquer des technologies existantes. Ces travaux supposent une connaissance de milliers de procédés industriels et de toutes les techniques de séparation et de recyclage.

Dans la plupart des industries, les entreprises privées effectuent la recherche appliquée et les chercheurs universitaires et organismes, la recherche pure. Or, étant donné sa taille modeste, l'industrie canadienne du matériel d'exploitation des ressources en eau fait peu de recherche appliquée. Donc, à moins d'un revirement de situation, l'industrie canadienne sera cantonnée dans un rôle mineur alors que les besoins de récupération des déchets industriels et de recyclage de l'eau prendront de l'ampleur.

Traitement de l'eau et épuration des eaux usées

Pour traiter l'eau, on la soumet habituellement à une série de processus chimiques et physiques afin d'en éliminer les corps solides en suspension et de détruire les bactéries et les virus qu'elle contient avant de l'acheminer aux usagers. Pour épurer des eaux usées, on utilise toute une gamme de procédés chimiques, physiques et biologiques destinés à rendre les eaux usées moins nuisibles ou dangereuses pour l'environnement avant leur rejet dans un cours d'eau.

On utilise divers procédés et techniques dans le traitement de l'eau et l'épuration des eaux usées selon le volume de ces eaux et les contaminants qui s'y trouvent.

Le traitement des eaux municipales et industrielles se fait généralement en trois étapes : l'ajout d'un coagulant inorganique ou polymère, la filtration pour éliminer la turbidité des eaux et la chloration afin de détruire les agents pathogènes. Ce traitement est plutôt simple, mais il en existe de multiples variantes et le matériel de contrôle, de pompage, d'emmagasinage, de distribution de produits chimiques et de filtration compte de nombreux éléments.

Les techniques d'épuration des eaux usées sont encore plus nombreuses, en raison du nombre quasi illimité de combinaisons de contaminants dont ces eaux doivent être purifiées. Ceci est particulièrement vrai des eaux industrielles résiduaires. Le matériel manufacturé de traitement des eaux usées présente une grande diversité mais ne doit normalement assurer qu'une des quatre fonctions suivantes :

- Eliminer des impuretés de l'eau en se servant des différences de densité. On réalise cette séparation au moyen de divers procédés comme la flottation par insufflation d'air, la centrifugation et la coagulation chimique préalable.

- Séparer des impuretés de l'eau par filtration. Les filtres se composent de nombreux matériaux divers et prennent plusieurs formes du lit de sable à la pellicule plastique pouvant filtrer des particules de un (1) micron.

- Transformer les impuretés par l'ajout de substances chimiques qui forment avec les impuretés des composés moins dommageables ou plus faciles à extraire.

- Décomposer les impuretés au moyen de procédés de dégradation biologique. C'est un des principaux traitements (avec la séparation gravitaire) dont se servent

les municipalités pour épurer les eaux d'égout.

Chaque méthode s'appuie sur des connaissances techniques, un matériel et une conception qui lui sont propres.

Le tableau 1 donne la liste des types d'appareils utilisés dans le traitement de l'eau et l'épuration des eaux usées. Le présent rapport n'a pas pour objet d'examiner les compétences techniques des fabricants canadiens pour chaque type ni d'évaluer leur capacité de répondre à la demande prévisible de produits donnés.

Aperçu de l'industrie canadienne

Plus de 2 500 collectivités canadiennes -- soit plus de 90 pour cent de la population -- possèdent un système d'approvisionnement en eau. Au début des années 80, on comptait environ 1 440 stations d'épuration des eaux d'égout qui desservaient 57 pour cent de la population. Un autre 28 pour cent étaient desservis par des réseaux d'égouts qui déversaient les eaux usées dans une rivière, un lac ou un océan sans traitement préalable. En Ontario et dans les provinces de l'Ouest, on épurait presque toutes les eaux usées avant de les déverser; au Québec et dans les provinces de l'Atlantique, on épurait seulement une faible proportion des eaux d'égout[3]. En 1978, le Québec instaurait un programme destiné à améliorer les services de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées de la province. En 1986, les dépenses annuelles faites dans le cadre du Programme d'assainissement des eaux du Québec s'élevaient à environ 700 millions de dollars. Bien que le programme accuse un certain retard, le Québec demeurera, pour les cinq prochaines années du moins, le marché le plus important du Canada en ce qui a trait au matériel de traitement municipal des eaux.

Le prochain chapitre comporte une description détaillée des prévisions de dépenses en capital. Toutefois, on signale que les municipalités et industries consacrent déjà environ 445 millions de dollars par an à l'achat de matériel d'épuration des eaux usées et y consacreront plus de 600 millions de dollars en 1992.

Comme l'indique le tableau 2, il y a au Canada 389 entreprises qui fabriquent, vendent ou distribuent du matériel de dépollution de l'eau. Trente-six entreprises oeuvrent dans le domaine des produits chimiques utilisés dans le traitement de l'eau. Quelques entreprises produisent à la fois du matériel et des produits chimiques. On estime que moins de 20 pour cent des 389 entreprises de l'industrie du matériel de traitement de l'eau fabriquent leurs produits au Canada, et que seulement 30 d'entre elles possèdent une technologie unique ou brevetée.

Tendances et perspectives

Un certain nombre de tendances revêtent une importance grandissante pour le traitement de l'eau et l'épuration des eaux usées :

- Le nombre des contaminants (notamment des substances organiques synthétiques) qui doivent être contrôlées, éliminées, ou les deux s'accroît rapidement.

- Les techniques capables d'extraire les substances organiques synthétiques connaissent une utilisation accrue. Ces techniques comprennent, entre autres, des procédés faisant appel à du carbone activé en granules ou en poudre, à des membranes et à la digestion anaérobie ou aérobie pour accélérer les procédés biologiques.

- La biotechnologie permet de mettre au point des méthodes pour détruire des contaminants, comme le cyanure, qui sont normalement toxiques pour les bactéries.

- Une réglementation de plus en plus rigoureuse impose l'amélioration des procédés, le resserrement du contrôle de l'exploitation, un nombre accru d'étapes de traitement ou des progrès combinés dans chacun de ces domaines.

- L'automatisation intensive des installations, notamment au moyen de la gestion par ordinateur et de l'instrumentation en direct, permet d'en optimiser l'exploitation.

Tableau 1. Types d'appareils utilisés dans le traitement de l'eau et l'épuration des eaux usées

Appareils d'aération
Bouches d'incendie
Canaux de mesure de débit
Chemises
Clapets de non-retour
Clapets et robinets
Clarificateurs
Compresseurs
Déchiqueteurs et dilacérateurs
Déminéraliseurs
Digesteurs
Doseurs de réactif
Echangeurs d'ions
Enregistreurs
Filtres à air
Floculateurs
Grilles
Matériel de déshydratation des boues
Ozoneurs
Tours de refroidissement
Ventilateurs
Agitateurs et mélangeurs
Appareils de désinfection
Appareils de flottation
Bassins de coagulation
Compteurs
Concentrateurs
Déchlorateurs
Détecteurs (gaz)
Diffuseurs d'air
Dispositifs d'osmose inverse
Filtres
Incinérateurs
Jauges
Mélangeurs chimiques
Stations de déferrisation
Systèmes d'alarme
Systèmes de protection cathodique
Tuyaux
Adoucisseurs
Appareils d'analyse
Bassins
Centrifugeuses
Contrôleurs
Déssableurs
Diffuseurs
Echangeurs de chaleur
Ejecteurs
Epaississeurs de boue
Instrumentation
Matériel de chloration
Matériel de fluoration
Pompes
Raccords
Réservoirs
Revêtements
Séchoirs
Séparateurs
Séparateurs d'huile
Soufflets
Systèmes de contrôle de la qualité de l'eau
Systèmes de décantation
Systèmes de lixiviation

Source : Water and Pollution Control, 1987 Directory and Buyer Guide, 124(6), 1986, 16.

- Le recyclage des produits et la récupération de l'énergie font l'objet d'un intérêt croissant.

Ces tendances indiquent que les entreprises canadiennes désirant se placer dans le peloton de tête du secteur des ressources en eau (un secteur qui est appelé à grandir au cours des deux prochaines décennies) devront demeurer à la fine pointe de la technologie dans les domaines suivants :

- l'adsorption
- les techniques de séparation avancées
- la conception de réacteurs biologiques
- la biotechnologie
- la gestion par ordinateur et l'instrumentation en direct
- les logiciels d'automatisation industrielle

Quoique les chercheurs canadiens sont actifs dans la plupart de ces domaines, il y a peu de mécanismes pour assurer le transfert des connaissances acquises au secteur privé.

En supposant une amélioration des installations municipales et industrielles pour satisfaire à des normes plus rigoureuses et un rythme de construction de nouvelles stations constant, on peut prévoir que la demande globale de matériel de traitement et

Tableau 2. Nombre d'entreprises oeuvrant dans le secteur de la protection de l'environnement au Canada, 1986

Cabinets d'experts-conseils ou d'ingénieurs	567
Matériel de dépollution de l'air	23
Matériel de dépollution de l'eau	389
Autre matériel	310
Produits chimiques de traitement	36
Manipulation de déchets solides	61
Manipulation de déchets liquides	92
Traitement ou élimination des déchets	38
Laboratoires	58
Recyclage	428
Total	2 002

Source : W.M. Glenn, Environmental Protection Industry: Inventory of Firms, rapport inédit préparé pour Environnement Canada, Corpus Information Services, Don Mills, Ontario, 1987, 2.

de dépollution des eaux représentera d'ici cinq ans un marché de 600 millions de dollars par an. La demande s'intensifiera surtout dans les domaines de l'épuration et du recyclage des eaux usées. Il y a plusieurs raisons à cela :

- La réglementation et les normes de dépollution concernant le rejet des eaux usées changent fort rapidement.

- Les entreprises s'efforceront de réduire au minimum le risque que représente le rejet de leurs résidus hors de leurs installations au moyen de systèmes avancés de traitement des déchets et de recyclage de l'eau (et des produits) et de réduire du même coup le volume des eaux usées à rejeter et d'eau potable à acheter.

- La réduction du nombre de sites de rejet entraînera une hausse des coûts de rejet des déchets liquides dangereux hors des installations.

- Les usagers industriels et résidentiels verront le coût de leur eau grimper au fur et à mesure que les municipalités décideront de faire porter aux usagers les coûts réels du traitement de l'eau et de l'épuration des eaux usées.

Traitement sur les lieux d'utilisation

Les Canadiens s'en sont toujours remis aux stations municipales de traitement d'eau ou, dans les zones rurales, à des puits ou des sources non contaminées pour s'approvisionner en eau potable. Mais depuis dix ans, de plus en plus de gens doutent de la qualité de leur eau potable et installent des purificateurs chez eux. Les laboratoires qui ont besoin d'une eau plus propre que l'eau du robinet se servent également de tels dispositifs.

Les systèmes conçus pour les lieux d'utilisation font appel aux rayons ultra-violets, à la filtration, l'adsorption, l'échange d'ions, la déminéralisation, la distillation ou l'osmose inverse. Cette catégorie de systèmes de traitement comprend aussi les adoucisseurs d'eau (des échangeurs d'ions); les premiers sont apparus dans les régions à eau dure du Midwest des Etats-Unis.

L'eau embouteillée concurrence ces techniques. Au Canada, environ un ménage sur 20 achète régulièrement de l'eau

embouteillée. Au Québec et en Ontario la proportion est un peu plus élevée. Les ventes d'eau embouteillée au Canada augmente de plus de 20 pour cent par an[4].

Aperçu de l'industrie canadienne
A l'heure actuelle, les fournisseurs canadiens de systèmes domestiques de traitement de l'eau distribuent les produits d'entreprises américaines comme Culligan, Lindsay Water Conditioning et Rayne. Très peu de produits sont fabriqués au Canada; les entreprises canadiennes se contentent de vendre et d'entretenir ces systèmes. Il y a deux exceptions notables à cette règle : Water Conditioning de Winnipeg au Manitoba et Trojan Technologies de London en Ontario qui fabriquent des stérilisateurs à rayons ultraviolets. La plupart des entreprises qui distribuent de l'eau "de source" embouteillée (non gazeuse) sont canadiennes.

La seule société canadienne qui fabrique des systèmes de traitement sur les lieux d'utilisation pour des laboratoires est Zenon Water Systems Inc., qui exporte ses systèmes aux Etats-Unis où Corning Glass les vend sous la marque de commerce Corning.

Le marché canadien de systèmes pour les lieux d'utilisation représente un chiffre d'affaires annuel d'environ 40 millions de dollars. Ce chiffre comprend les ventes de matériel, de fournitures et d'eau embouteillée aux utilisateurs finaux.

Tendances et perspectives
De manière générale, le marché de matériel de traitement de l'eau pour les ménages devrait croître à un taux annuel de plus de 15 pour cent d'ici 1995. Par la suite, sa croissance sera fonction de la rapidité avec laquelle les municipalités adopteront des méthodes de traitement capables de débarasser l'eau de matières organiques toxiques et persistantes. Etant donné la simplicité technique des appareils pour les ménages, la conception de produits novateurs permettrait aux entreprises canadiennes de supplanter les systèmes importés.

Captage et distribution de l'eau
On entend par "réseau de distribution d'eau" tout le matériel utilisé pour capter l'eau et la distribuer aux utilisateurs après traitement. Ce matériel comprend les systèmes de captage, les canalisations, les postes de pompage et les nombreux autres éléments moins importants qui font partie d'un réseau de distribution. Comme la plupart des éléments de ce matériel ont de nombreux autres usages, il n'existe à peu près pas de données propres à ce secteur. Les entrepreneurs chargés de l'exécution des projets assemblent des pièces fabriquées pour en faire des réseaux de distribution d'eau.

Aperçu de l'industrie canadienne
Les normes canadiennes élevées de conception et de construction dans le domaine des services municipaux sont connues à travers le monde. Une grande partie des matériaux utilisés dans la construction des réseaux d'adduction et de distribution de l'eau est fabriquée au Canada.

Dans la construction de grands réseaux de traitement et d'approvisionnement, le prix payé au fabricant pour le matériel (avant installation) représente environ un quart des dépenses; les tuyaux, le matériel accessoire comme les bâtiments et la marchandise générale, la construction et les services professionnels représentent le reste. Environ 1,2 milliard de dollars ont été dépensés en 1985 pour de tels réseaux et ce chiffre devrait passer à 1,8 milliard de dollars d'ici 1992[5].

Tendances et perspectives
C'est au niveau des nouveaux matériaux utilisés dans la construction des réseaux de distribution qu'on a connu les progrès techniques les plus notables. Ces matériaux offrent une meilleure résistance à la corrosion, un rapport résistance-poids supérieur, une durée de vie utile plus longue et une facilité de manutention.

Quoique l'approvisionnement en eau est, parmi les branches d'activité qui forment le secteur canadien des ressources en eau, celle qui procure le plus d'emplois et quoiqu'il faudra affecter des sommes relativement importantes au remplacement de vieux réseaux qui se détériorent, cette industrie profiterait peu de recherches

scientifiques accrues. De même, les progrès réalisés dans cette industrie n'améliorent pas la qualité de vie des Canadiens autant que les progrès technologiques dans le domaine du dessalement de l'eau ou de l'épuration des eaux usées.

Environnement Canada examine, dans le cadre de son plan d'action pour participer effectivement au développement économique du Canada tout en respectant son mandat fondamental qui est de préserver l'environnement, le nombre d'emplois dans le secteur de la protection de l'environnement et le taux d'investissement par sous-secteur et répertorie les entreprises qui oeuvrent dans le domaine de la protection de l'environnement. Un rapport était prévu pour mai 1987. Ces données permettront une évaluation systématique des conséquences des politiques en matière d'environnement pour les divers intervenants du secteur privé.

Environnement Canada n'est pas le seul ministère à s'intéresser à ces questions. La Direction de la machinerie et de l'équipement électronique du ministère fédéral de l'Expansion industrielle régionale (MEIR) tente depuis plusieurs années de répertorier les entreprises dans ce domaine en donnant leurs compétences, mais n'a pas encore complété cette tâche. Au Québec, le ministère de l'Industrie et du Commerce a publié en mars 1987 les résultats d'une étude commandée à l'Association québécoise des techniques de l'eau (AQTE) sur les technologies, le matériel, les fournisseurs et les activités de recherche et de développement. En Ontario, l'Association of Pollution Control Equipment Manufacturers a entrepris récemment de répertorier les produits et services offerts par ses membres.

Mais malgré les récents efforts poussés de collecte d'information, il y a un manque de données solides sur la plupart des aspects du secteur des ressources en eau parce que :

- La Classification type des industries (CTI) ne comprend pas de code pour les produits fabriqués par l'industrie de la protection de l'environnement.
- Certains nouveaux produits techniques, tel le matériel de dessalement de l'eau, ne répondent pas aux critères de quelque code que ce soit.
- Les composants (qui représentent la majeure partie des dépenses affectées aux produits dans ce secteur) ne servent pas exclusivement à des applications environnementales. On dispose d'excellentes statistiques sur la production, les ventes, les importations et les exportations d'éléments tels que pompes, tuyaux, vannes, raccords, compresseurs et réservoirs, mais ces données n'indiquent pas à quoi servent ces éléments. Or, il s'agit de composants de base non seulement des systèmes décrits dans le présent rapport mais aussi de systèmes de transport et de traitement des fluides industriels, de raffinage et de récupération d'énergie, de systèmes industriels ou publics de chaudières ou de refroidissement et ainsi de suite.

Il est essentiel de tenir compte de ces facteurs quand on tire des conclusions des données recueillies par Statistique Canada, Douanes Canada et le U.S. Department of Commerce.

Emplois

Il est difficile de déterminer le nombre exact d'emplois découlant directement de la fabrication et de l'utilisation de matériel de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées. On estime toutefois entre 104 500 et 129 000 le nombre de personnes occupant un emploi dans le secteur canadien de la protection de l'environnement[6]. Le tableau 3 montre la répartition de ces emplois par branche d'activité.

Quatre de ces branches revêtent une importance particulière dans le cadre de cette étude : la protection de l'environnement au sein des gouvernements (notamment les fonctionnaires oeuvrant dans le domaine du développement technique), la fabrication de matériel de dépollution de l'eau, la

Tableau 3. Emplois dans le secteur canadien de la protection de l'environnement, 1986

Protection de l'environnement au sein des gouvernements	
fédéral	5 100
provinciaux	6 500
municipaux (exploitation et réglementation)	21 100
Construction de stations de traitement	9 300-28 800
Protection de l'environnement au sein des entreprises	10 000-15 000
Fabrication de matériel de dépollution	
de l'air	2 000
de l'eau	8 500
Elimination des déchets solides	26 000
Elimination des déchets industriels liquides	6 000
Recyclage	8 000
Conseils, travaux de génie	2 000
Total	104 500-129 000

Source : William M. Glenn[6].

construction de stations de traitement, et la protection de l'environnement au sein des entreprises.

L'examen des objectifs des programmes des ministères concernés permet de déterminer avec justesse le nombre d'années-personnes et les autres ressources que les gouvernements affectent à la dépollution de l'eau.

Investissements directs

Il importe, lorsque l'on détermine la valeur des investissements directs de matériel, de services et d'exploitation d'installations de dépollution, de tenir compte des avantages non quantifiables associés à un environnement propre et sain. Du point de vue strictement économique, on estime souvent que les sommes investies par les entreprises et les gouvernements dans le domaine de la dépollution jugé non productif représentent une perte nette pour l'économie globale. Il n'est toutefois pas difficile d'imaginer qu'à long terme, ces investissements contribueront à préserver la compétitivité de l'industrie canadienne en permettant de transformer de façon propre et efficace les ressources naturelles en produits vendables. Même à court terme, l'investissement direct à la dépollution est très rentable sur le plan de la création d'emplois, car il crée un emploi par tranche de 50 000 $ à 100 000 $[7].

Le tableau 4 montre les sommes consacrées par les municipalités, entre 1980 et 1985, à la construction de systèmes d'adduction, de traitement et de distribution de l'eau et d'épuration des eaux usées. Les totaux des dépenses globales sont demeurés relativement stables, augmentant de moins de 15 pour cent au cours de toute cette période.

D'après les estimations du ministère ontarien de l'Environnement, selon lesquelles le seul matériel représente 26 pour cent du coût des réseaux d'égouts, des stations d'épuration et des raccords de canalisations, et d'après les données du tableau 4, nous estimons que les municipalités canadiennes affectent environ 275 millions de dollars par an au matériel de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées.

Même s'il est plus difficile d'obtenir des données précises sur les sommes que l'industrie affecte à l'achat de matériel de

Tableau 4. Valeur globale des travaux de construction au Canada -- canalisations et systèmes d'égouts, 1980-1985

	000 000 $ ($ constants de 1985)					
	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Drains, fossés de drainage, égouts pluviaux	504	580	513	513	494	503
Conduites principales, bouches d'incendie et conduites de distribution	543	607	605	571	617	650
Stations d'épuration, égouts et raccords	664	665	754	743	755	753
Postes de pompage et stations de filtration	261	269	340	373	322	350
Réservoirs d'eau	24	24	31	30	34	36
	1 996	2 145	2 243	2 230	2 222	2 292

Source : Statistique Canada, La Construction au Canada, 1985, Ottawa, 1986, n° au cat. 64-201, 16.

dépollution de l'eau, Corpus Information Services calcule, à partir des demandes d'amortissement accéléré du coût en capital présentées par les entreprises, qu'elles sont de près de 100 millions de dollars par an. En outre, 80 millions de dollars sont consacrés au traitement de l'eau[8].

Le tableau 5 résume les résultats de l'étude de Muir[9] préparée pour Environnement Canada et portant sur les coûts qu'entraînent pour les municipalités et les grandes entreprises les normes relatives aux effluents que le gouvernement de l'Ontario institue dans le cadre de sa stratégie municipale et industrielle de dépollution (SMID) et que d'autres gouvernements envisagent d'adopter. La plupart des données du tableau ne concernent que les industries ontariennes. Dans le cas où d'autres provinces adopteraient des normes semblables, les chiffres du tableau s'avéreraient bien au-dessous de la réalité. Les données concernant les municipalités et les industries ne s'appliquent qu'à l'extension et à l'amélioration d'installations existantes et tiennent compte ni du programme intensif de construction de stations de traitement au Québec ni de futurs projets de construction ailleurs au Canada. On ne connaît pas le rythme éventuel de ces dépenses. Mais selon le calendrier du programme SMID fixé par le ministère ontarien de l'Environnement, toutes les grandes industries énumérées dans le tableau seront assujetties dès 1990 à la nouvelle réglementation sur le rejet des eaux usées. Des évaluations prudentes établissent à 26 pour cent la proportion des dépenses totales qui servira à l'achat d'équipement manufacturé, le reste sera affecté à la construction et aux matériaux (béton, acier, installations et ainsi de suite) ainsi qu'aux services professionnels de conception et de gestion de chantier.

Tableau 5. Dépenses en immobilisations qui s'imposent à court terme

Catégorie	Nombre de stations	(000 000 $, 1986) Investissements nécessaires	Emplois créés
Service municipal d'épuration des eaux usées[1]		1 300	13 000-26 000
Service municipal de traitement de l'eau[1]		1 600	16 000-32 000
Pâtes et papiers	78	190-350	1 900- 7 000
Fer et acier	9	30- 65	300- 1 300
Extraction et raffinage des métaux[2]	27	135	1 340- 2 700
Produits chimiques organiques[2]	22	110	1 100- 2 200
Produits chimiques inorganiques[2]	14	28- 70	280- 1 400
Production d'électricité[2]	5	10- 25	100- 500
Finition et fabrication de métaux[2]	9	18- 45	180- 900
Raffineries de pétrole[2]	7	35	350- 700
Autres industries responsables de rejets importants dans les cours d'eau[2]	75	150-375	1 500- 7 500
Industries dont les rejets sont traités par les stations municipales[2]	12 000	120	1 200- 2 400
		3 726-4 230	37 250-84 600

[1] Données de la Fédération canadienne des municipalités
[2] Usines ontariennes seulement. Valeurs non disponibles pour les autres provinces.

Source : T. Muir[9].

En nous fondant sur les données du tableau 5 et en supposant que les sommes prévues pour l'amélioration et l'extension des installations en place seront dépensées d'ici 1992, que l'Ontario représentera 50 pour cent du marché des installations industrielles de traitement, que le rythme actuel de construction de nouvelles stations se maintiendra (surtout au Québec) et qu'au moins 26 pour cent des dépenses seront affectées à l'achat de matériel, nous estimons que le marché du matériel d'épuration des eaux usées passera de son niveau actuel de 455 millions de dollars par an à pres de 600 millions de dollars par an d'ici 1992.

Balance commerciale du matériel d'exploitation des ressources en eau

Le marché canadien du matériel manufacturé d'exploitation des ressources en eau (tel qu'il est défini pour les besoins du présent rapport) est présentement évalué à 455 millions de dollars par an et on prévoit qu'il atteindra au moins 600 millions de dollars d'ici 1992, en raison surtout de la poursuite du programme intensif de construction de stations d'épuration au Québec et des sommes considérables que devront dépenser les entreprises pour se conformer au programme SMID et à toute autre réglementation.

Tableau 6. Importations canadiennes de matériel d'épuration des eaux d'égout par pays, 1980-1986 (000 $)

Pays	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Afrique du Sud	0	0	0	0	0	22	0
Allemagne	55	297	232	139	375	620	1 872
Australie	0	0	0	0	0	0	42
Autriche	0	1 151	675	8	0	26	130
Belgique	0	5	0	0	94	0	0
Bénin	0	0	0	0	0	0	12
Brésil	0	0	0	47	50	0	0
Danemark	1	0	267	7	106	170	44
Espagne	0	0	0	7	0	42	38
Etats-Unis	20 228	26 550	32 487	29 844	36 226	43 728	43 890
Finlande	0	620	37	3	36	0	169
France	4	26	179	63	93	396	272
Hong Kong	33	28	29	47	50	38	26
Inde	26	0	0	0	0	0	0
Israel	0	3	0	1	3	22	19
Italie	138	139	12	62	100	299	361
Japon	260	121	147	82	1 786	156	215
Nouvelle-Zélande	0	0	0	7	0	0	0
Norvège	74	21	7	7	5	29	4
Pays-Bas	152	184	41	152	490	467	428
Portugal	0	0	0	0	0	0	50
Royaume-Uni	379	207	220	519	1 378	907	4 084
Suède	33	16	33	65	123	21	14
Suisse	248	28	49	2 704	34	100	242
Taiwan	9	4	15	0	0	211	266
Total	21 640	29 400	34 430	33 764	40 949	47 254	52 178

Sources : Statistique Canada, Imports Merchandise Trade, 1986, (Ottawa : Statistique Canada, 1987), n° au cat. 65-203, 732; Importations par marchandises, décembre 1986, (Ottawa : Statistique Canada, 1987), n° au cat. 65-007, 43(12), 398.

La production intérieure n'arrive même pas à satisfaire la demande actuelle du pays en matériel de traitement. Le tableau 6 indique que les importations classées dans la catégorie "appareils d'épuration des eaux d'égout et pièces" par Statistique Canada ont connu une augmentation moyenne de 17 pour cent par an entre 1980 et 1986. D'autre part, comme en font foi les données du tableau 4, la valeur globale des sommes consacrées à la construction de stations d'épuration des eaux usées est demeurée à peu près stable au cours de la même période. On peut donc penser que les livraisons intérieures de ce type de matériel ont diminué au cours de ces six années. Malheureusement, les données de Statistique Canada sur la production intérieure dans ce secteur sont incomplètes et fragmentaires.

Selon les données publiées par le U.S. Department of Commerce[10], en 1984 les

Etats-Unis ont exporté au Canada pour 617 millions de dollars de matériel d'exploitation des ressources en eau. En 1980, la valeur de ces exportations avait été de 600 millions de dollars. Cependant, il est pratiquement impossible de comparer ces chiffres avec ceux de Statistique Canada (tableau 6) parce que les données américaines englobent des catégories que les données canadiennes excluent comme le matériel d'irrigation, le matériel de forage de puits, les pompes, les tuyaux et les raccords.

Etant donné cette situation, on ne peut évaluer que très approximativement le pourcentage du marché canadien de matériel manufacturé occupé par des produits canadiens. Quoique les chiffres de Statistique Canada se rapportant aux importations et à la production intérieure sont probablement trop élevés, le rapport entre les deux est vraisemblable; c'est-à-dire que la production intérieure approvisionne 55 pour cent du marché, mais que ce pourcentage va diminuant. Les données réunies par Glenn confirment cette estimation[6].

Dans les données de Statistique Canada concernant les exportations de marchandises, il n'y a pas de catégorie distincte pour le matériel de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées, au contraire ce matériel est englobé sous la rubrique "hygiène et sécurité" avec d'autre matériel comme celui de lutte contre les incendies. Il est donc impossible d'obtenir des données fiables sur les exportations. Toutefois, les exportations ne dépassent tout probablement pas les 30 millions de dollars par an.

4. CAPACITE CONCURRENTIELLE DE L'INDUSTRIE CANADIENNE

Profil des entreprises du secteur privé

Il existe au Canada environ 400 entreprises qui fournissent du matériel servant à améliorer la qualité de l'eau. On peut regrouper ces entreprises en trois catégories : les fabricants, les succursales de fabricants et les distributeurs indépendants ou représentants de fabricants.

Les succursales de fabricants ne sont le plus souvent que des points de vente, parfois elles sont également responsables de l'assemblage et de l'installation des produits. Il s'agit généralement de succursales de fabricants étrangers (le plus souvent américains) et elles s'adonnent rarement à la recherche ou à la mise au point de nouveaux produits. Mais Komline-Sanderson de Brantford en Ontario fait exception : cette filiale canadienne d'une société dont le siège se trouve au New Jersey a mis au point une petite presse à vide, qu'elle fabrique et distribue sur le marché mondial.

Les représentants de fabricants et les distributeurs constituent un maillon important de ce marché, car leurs activités recoupent plusieurs marchés de produits industriels. Il s'agit d'habitude de petites entreprises (de moins de 10 personnes) qui distribuent un éventail de produits connexes offerts par divers fabricants, tant canadiens qu'étrangers. En règle générale, elles ne sont pas équipées pour se livrer à des activités de développement technologique et n'en tireraient pas d'avantages.

Ce secteur regroupe quelque 400 entreprises qui sont pour la plupart des succursales de fabricants, des représentants de fabricants ou des distributeurs. Mais, vu les restrictions imposées par leur mandat et leurs compétences techniques limitées, elles jouent un rôle mineur dans les efforts de l'industrie canadienne de profiter des activités de recherche-développement menées par le gouvernement et les universités.

Les quelques 30 entreprises qui fabriquent présentement du matériel et celles qui en ont déjà fabriqué sont responsables de la majeure partie de la commercialisation de techniques qui s'est faite au Canada. Nous présentons des énoncés fondés sur nos observations personnelles concernant ces entreprises et permettant, du moins nous l'espérons, de déterminer les meilleurs moyens de favoriser la commercialisation de techniques :

- Ces entreprises exploitent une seule technique ou possèdent un seul avantage commercial.
- Elles sont de taille modeste comparativement aux normes internationales pour cette industrie et emploient généralement moins de 50 personnes.
- Les entreprises en mains canadiennes ne sont d'habitude pas affiliées à de grandes sociétés-mères bien que plusieurs entreprises canadiennes indépendantes aient été acquises récemment par des grandes entreprises américaines.
- Elles sont plutôt jeunes et affrontent des risques financiers relativement élevés à cause de leur avoir limité et de la vive concurrence qui s'exerce au niveau des prix.
- Ces entreprises font de faibles profits à cause de la forte concurrence dans pratiquement tous les secteurs de l'industrie. Font exception les entreprises spécialisées dans le domaine des produits chimiques de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées, qui ne connaissent pas de forte concurrence au niveau des prix.
- Les entreprises en mains canadiennes sont d'habitude des sociétés privées qui n'ont pas généralement assez de capitaux, d'où une limitation des perspectives de recherche et de croissance.
- La capacité technique et la qualité des produits des entreprises en mains canadiennes sont satisfaisantes mais ces dernières ont peu accès à des réseaux de diffusion mondiale; c'est pourquoi leur volume de production est généralement faible et cyclique et leurs frais de production sont élevés.

Ces observations mettent en relief les différences fondamentales entre les entreprises canadiennes et les entreprises oeuvrant dans le même secteur aux Etats-Unis et en Europe. Tandis que les entreprises canadiennes sont généralement de petites sociétés spécialisées exploitant une seule technique (ou un éventail restreint de techniques), les grands fournisseurs américains du secteur de la protection de l'environnement (tels Rexnord Corp., Linkbelt, Graver et Zimpro) offrent une bonne gamme de produits. Cela est vrai notamment des entreprises dont les produits visent le marché des services municipaux de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées. Il existe en outre aux Etats-Unis et en Europe un deuxième groupe de fabricants qui se spécialisent dans un type particulier de traitement (comme la séparation des solides, la déshydratation ou l'aération) et qui offrent divers procédés et techniques. Par exemple Komline-Sanderson, Parkson et Arus-Andritz offrent tous des presses à bande, des filtres à vide, des centrifugeuses et des épaississeurs qui s'adaptent à presque n'importe quel procédé de déshydratation utilisé par les municipalités ou les industries. On remarque toutefois qu'aux Etats-Unis et ailleurs, les petites entreprises spécialisées augmentent leur part du marché aux dépens des entreprises généralistes. Ces gains sont attribuables au fait qu'elles sont clairement identifiées à une technologie de pointe ou qu'elles savent mieux répondre aux exigences du créneau auquel elles s'adressent. Cette tendance laisse entrevoir des perspectives intéressantes pour les entreprises canadiennes actuelles et futures.

Le surclassement de certaines des principales sociétés américaines par des petites entreprises s'explique par un autre facteur. Plusieurs de ces sociétés sont des filiales de grands conglomérats de l'industrie chimique ou y sont associées d'une manière ou d'une autre. A la fin des années 60 et au cours des années 70, nombre de grandes entreprises considérant la protection de l'environnement comme un secteur prometteur ont investi dans le développement ou l'acquisition de techniques en vue d'accroître leur part du marché. Il en résulta une vive concurrence, une saturation du marché et un niveau de rentabilité moins intéressant qu'escompté. En effet, le marché mondial de matériel de protection de l'environnement a connu une croissance très rapide durant les années 70. Mais au début des années 80, le marché a plafonné et a même fléchi quelque peu en raison d'une conjoncture économique défavorable et de l'affaiblissement de la volonté politique à l'égard de la mise en oeuvre (et du financement) de programmes de protection de l'environnement. Cette situation a entraîné un retrait des très grandes sociétés et un regain d'importance pour les entreprises spécialisées au niveau de la technologie ou des applications.

Les tendances décrites ci-dessus placent les entreprises canadiennes dans une position avantageuse pour accroître leur part du marché dans le domaine du matériel de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées. Toutefois, la technologie jouera un rôle-clé dans le partage des gagnants et des perdants. Les entreprises canadiennes, compte tenu de leurs capitaux permanents relativement limités et du peu de fonds qu'elles sont en mesure d'affecter à la recherche et au développement, ne pourront ni se doter ni conserver d'avantages techniques à moins que le pays ne se fixe comme priorité de coordonner le plus possible toutes les activités de recherche qui y sont menées.

Evaluation de la technologie canadienne

Il existe une grande diversité de techniques de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées. Celles-ci peuvent être classées dans les six catégories suivantes : l'adsorption, la séparation avancée (y compris la déshydratation et la solidification), les procédés biologiques (y compris la biotechnologie et la conception de bioréacteurs perfectionnés), l'instrumentation en direct et la gestion par ordinateur ou l'automatisation des installations, la destruction ou le traitement des solides extraits des eaux usées, et les produits chimiques, résines et polymères de traitement. Nous donnons ci-après les raisons de l'importance éventuelle de chacune de ces catégories ainsi que la

situation actuelle des entreprises canadiennes oeuvrant dans chaque secteur et les besoins de recherche dans ces catégories.

La place du Canada sur le marché des principales techniques

L'adsorption

L'adsorption est un procédé qui consiste à extraire les sels de l'eau ou des eaux usées en provoquant leur adhésion à la surface d'un corps. Ces corps se caractérisent généralement par un rapport surface-volume très élevé.

L'adsorption est une technique particulièrement importante pour plusieurs raisons. L'augmentation du nombre de composés organiques synthétiques dans l'eau potable et dans les eaux résiduaires industrielles a engendré la nécessité de mettre au point des procédés d'extraction plus efficaces que les procédés habituels de filtration. L'adsorption par charbon activé s'est révélée particulièrement efficace. De plus, la mise au point de matériaux adsorbants capables d'extraire sélectivement des éléments ou des composés fera de l'adsorption un procédé de traitement encore plus intéressant.

Le charbon activé est la matière adsorbante la plus couramment utilisée dans le traitement à grande échelle de l'eau et des eaux usées. Cette substance est disponible sous forme de granules ou de poudre et peut être régénérée en la chauffant en l'absence d'oxygène. Quoique le Canada compte plusieurs fournisseurs de charbon, les municipalités n'ont pas recours à l'adsorption pour épurer leurs eaux d'égout. Aux Etats-Unis et en Europe, un certain nombre d'usines utilisent l'adsorption dans le traitement secondaire et tertiaire des eaux usées pour débarasser l'eau de substances organiques synthétiques. Aucune industrie canadienne n'utilise encore d'adsorbants sélectifs dans le traitement de ses eaux résiduaires.

Le procédé d'adsorption, les vitesses d'adsorption, les phénomènes de surface et la capacité d'extraction sont encore mal compris et plusieurs échecs notables dans la mise en oeuvre du procédé sont attribuables à des défauts de conception. Les matériaux adsorbants composites pourraient se révéler très utiles dans le traitement des rejets industriels et le recyclage de l'eau, mais il faut poursuivre les recherches à ce sujet. Au Canada, l'Université McMaster est le chef de file dans ce domaine.

Technologie avancée des séparations

La technologie avancée des séparations englobe un large éventail de procédés physiques utilisés pour enlever les contaminants de l'eau. Cette catégorie de procédés comprend de nombreuses techniques dont les matériaux avancés de filtration, les membranes et les centrifugeuses.

Les procédés classiques de filtration gravitaire et autres réussissent à enlever plusieurs contaminants de l'eau. Mais la réglementation de plus en plus sévère, qui régit l'évacuation de substances et la qualité de l'eau potable, nécessite des procédés avancés de séparation pour satisfaire aux normes prescrites et rendre possible la réutilisation industrielle de l'eau.

Au Canada, la technologie avancée des séparations est dominée par des sociétés étrangères. Les grands noms sur le marché canadien, comme Alfa-Laval, Fram, Pennwalt, Sharples, Sweco, Abcor et Ecodyne, ont tous leur siège social à l'étranger et font peu de développement technologique ici. Des investisseurs torontois ont récemment acheté Dorr-Oliver Canada Ltd. d'Orillia en Ontario, bien connue dans le domaine des séparations, de sa société-mère Dorr-Oliver Inc. de Stamford au Connecticut. Cependant, la plupart des entreprises canadiennes sont des fournisseurs de produits spécialisés qui exercent leurs activités à l'échelle régionale.

Les besoins de recherche sont plus aigus dans le domaine de la mise au point de matériaux, y compris de membranes de séparation, et du développement d'applications. Tout procédé utilisant beaucoup de matériel fait l'objet de recherches continues en vue d'optimiser la conception du matériel.

Procédés biologiques
Les procédés biologiques sont beaucoup utilisés dans le traitement des eaux ménagères. L'épuration biologique des eaux d'égout assure un taux élevé de dégradation de matière organique dans un milieu contrôlé. Il peut s'agir d'un traitement aérobie (les bactéries ont besoin d'oxygène) ou anaérobie.

L'épuration biologique est simple, efficace et rentable. Toutefois, il est encore possible d'améliorer le rendement énergétique global des installations en perfectionnant les bioréacteurs et les souches de bactéries et en arrivant à une connaissance et une maîtrise meilleures de la cinétique du procédé. La mise au point et l'utilisation de nouvelles souches de bactéries et de nouveaux bioréacteurs pour épurer les eaux résiduaires industrielles difficiles à traiter à l'aide des procédés classiques sont d'autres voies de recherche prometteuses.

Des six types de technologies examinés dans le présent document, la technologie des procédés biologiques est probablement celle où l'industrie canadienne est le plus en mesure de répondre à la demande intérieure. Il y a plusieurs raisons à cela. En règle générale, les procédés biologiques utilisent du matériel commun (appareils d'aération, pompes, moteurs, diffuseurs et ventilateurs) fourni sous forme d'éléments assemblés par un entrepreneur en construction d'après les spécifications établies par un ingénieur-conseil. Plusieurs entreprises canadiennes offrent des petites installations préagencées et assemblées, largement utilisées dans le traitement biologique des eaux.

La mise au point ou la sélection de bactéries capables de dégrader un plus grand éventail de résidus industriels ou à tout le moins de leur résister entraînera vraisemblablement un progrès marqué du traitement biologique des eaux. Les réacteurs utilisant la technique du lit fixe ou du lit flottant offrent également d'excellentes possibilités d'accroître l'efficacité des procédés biologiques. Mais l'industrie canadienne fait peu pour réussir une percée technologique dans les domaines de nouvelles souches de bactéries ou de nouveaux types de réacteurs.

Instrumentation, gestion par ordinateur et automatisation des installations
Cette technologie se rapporte aux techniques de mesure et de gestion susceptibles d'améliorer le fonctionnement des divers appareils qui participent au traitement. Les techniques les plus perfectionnées s'appuient principalement sur les progrès accomplis dans les domaines de la mesure, de l'électronique et de l'informatique.

Il est possible d'améliorer grandement l'efficacité des procédés actuels de traitement des eaux et d'épuration des eaux usées, simplement en en améliorant l'exploitation individuelle ou en systèmes. Selon les chercheurs d'Environnement Canada, l'investissement de 300 millions de dollars dans l'instrumentation, l'automatisation des installations et l'amélioration des procédés entraînerait une augmentation de l'efficacité équivalente à celle qui découlerait de l'investissement de un milliard de dollars dans l'amélioration du matériel et l'agrandissement des installations.

Les grandes sociétés étrangères comme Badger, Leeds and Northrup, Hewlett-Packard et Rockwell International dominent pratiquement le marché des capteurs et des instruments standard de mesure qui servent à recueillir les données dans les stations de traitement. Mais la mise au point de dispositifs et de logiciels spécialisés pour la gestion informatisée de l'exploitation des stations offre des perspectives de recherche intéressantes. Des sociétés canadiennes se livrent concurrence dans ce secteur à croissance rapide où les grandes sociétés étrangères s'imposent moins. Avant sa faillite en 1986, Grey Engineering de Markham en Ontario semblait bien percer sur ce marché.

La mise au point de moyens perfectionnés de gestion automatisée représente effectivement une voie de recherche intéressante pour tout procédé de traitement.

Destruction ou traitement des solides extraits des eaux usées
Ces technologies comprennent entre autres l'incinération, la solidification, l'oxydation et la neutralisation.

L'augmentation rapide du volume des matières solides produites par le traitement de l'eau et l'épuration des eaux usées découle des méthodes de traitement utilisées. Il est important de poursuivre les efforts de mise au point et d'application de moyens sûrs et efficaces d'éliminer ces résidus.

L'industrie canadienne occupe une place avantageuse dans ce secteur. Tricel de Mississauga exploite à Sarnia un incinérateur à boues industrielles. Bow Valley Resources a investi plus de 10 millions de dollars dans la mise au point d'un procédé d'oxydation en puits profond. La société Petrosun est autorisée à exploiter le brevet d'un procédé élaboré par Environnement Canada pour convertir les boues d'égout en combustible. En Alberta et en Ontario, des sociétés de la Couronne travaillent également à la mise au point de procédés de traitement et d'élimination des résidus. Enfin, plusieurs entreprises ainsi que le gouvernement effectuent des recherches dans le domaine de la solidification.

La gestion des résidus prend donc plusieurs formes. Dans la plupart des cas, d'autres études s'avèrent nécessaires pour connaître les effets à long terme de ces techniques sur l'environnement. Il faudrait se pencher sur le dégagement de substances toxiques des produits incinérés, la lixiviation à long terme des substances solidifiées et les méthodes de traitement sur place.

Produits chimiques, résines et polymères de traitement

De nombreuses substances chimiques sont utilisées couramment dans le traitement de l'eau et l'épuration des eaux usées pour la désinfection, la coagulation, l'oxydation, la déminéralisation ou le conditionnement. Certaines de ces substances, comme le chlore, la chaux ou le chlorure ferrique, sont des produits courants mais d'autres, comme les polymères utilisés dans la coagulation, sont considérées comme des produits spécialisés.

L'efficacité de nombre de procédés unitaires de séparation, y compris la séparation gravitaire, est étroitement liée à la sélection de coagulants adaptés aux caractéristiques de l'eau et des contaminants.

Les entreprises canadiennes détiennent une part importante du marché des produits chimiques communs utilisés dans le traitement de l'eau et l'épuration des eaux usées (le chlore, l'alun, le chlorure ferrique, etc.) mais elles ont du mal à percer celui des produits spécialisés. Les utilisateurs canadiens de produits chimiques spécialisés s'approvisionnent surtout auprès de grandes multinationales, entre autres Nalco, Allied Calloids, Allied Chemical et Cyanamid. La plupart des produits spécialisés vendus au Canada sont également fabriqués au Canada, soit sous licence, soit par la filiale canadienne d'une multinationale. Alkaril Chemicals est une des seules entreprises canadiennes sans lien aucun avec une multinationale à fabriquer des produits chimiques spécialisés. La société Alchem, établie à Burlington en Ontario, est un exemple d'entreprise qui fabrique des produits chimiques spécialisés de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées sous licence d'une multinationale (Nalco).

La mise au point de meilleurs produits spécialisés, notamment de coagulants pour la filtration et de substances pour le conditionnement des boues, améliorerait de façon marquée l'efficacité des procédés unitaires.

5. CENTRES CANADIENS DE RECHERCHE APPLIQUEE SUR LES EAUX

Au Canada, la recherche sur les eaux est effectuée par les gouvernements fédéral et provinciaux, les universités et le secteur privé, qui y ont consacré près de 55 millions de dollars en 1983. Le gouvernement fédéral a engagé les dépenses les plus importantes. Les gouvernements provinciaux dépensent moins pour la recherche, mais ils accordent aux municipalités une aide financière importante pour la construction de stations d'épuration. En outre, plusieurs gouvernements provinciaux achètent et utilisent des produits et des services de l'industrie des ressources en eau à titre de propriétaires et exploitants de petites stations mises au service des municipalités.

Les recherches sur l'eau effectuées par les gouvernements et les universités portent sur tout un éventail de questions. Mitchell et McBean[11] regroupent les recherches autour des sujets suivants : la nature de l'eau, le cycle de l'eau, l'accroissement et la sauvegarde des sources d'approvisionnement en eau, la gestion et le contrôle de la quantité de l'eau, la gestion et la sauvegarde de la qualité de l'eau, les aspects socio-économiques, les données sur les ressources, les travaux d'ingénierie, enfin la gestion et la protection de l'environnement.

De ces neufs sujets de recherche, les seuls ayant une incidence sur le secteur canadien de fabrication de produits techniques sont la gestion de la qualité de l'eau et les travaux d'ingénierie. En 1983, les gouvernements, l'industrie et les universités ont consacré quelque 28 millions de dollars à la recherche sur la gestion et la sauvegarde de la qualité de l'eau et 1,8 million de dollars à des études d'ingénierie. Toutefois, des 28 millions de dollars affectés à la recherche sur la qualité de l'eau, seule une part infime, soit aussi peu que huit millions de dollars, visait l'amélioration des procédés de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées.

Le niveau de recherches sur des sujets ayant un potentiel commercial est lamentable, compte tenu de la forte demande canadienne croissante de produits techniques de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées. Les dépenses de recherche représentent en effet moins de 1,9 pour cent du chiffre annuel des ventes. La situation s'aggrave du fait que cette pénurie de fonds de recherches survient à un moment où la place du Canada sur le marché de la technologie commerciale s'amenuise tout comme la part de marché réelle que détiennent des entreprises canadiennes.

L'affectation de cinq pour cent du chiffre annuel des ventes de produits de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées à la recherche appliquée sur l'eau est un objectif réaliste. D'après les chiffres d'affaires actuels, cela représenterait dans l'immédiat un montant de 22 millions de dollars, et plus de 30 millions de dollars par an d'ici quatre ans -- soit de trois à quatre fois les sommes actuelles.

En 1984, la recherche effectuée par le gouvernement fédéral représentait 51 pour cent des dépenses associées à tous les types de recherche sur l'eau. Si on ajoute le soutien financier accordé par le gouvernement fédéral aux travaux d'autres organismes, cela porte à 72 pour cent sa part des dépenses totales dans ce secteur. Toujours en 1984, l'industrie a consacré 5,6 millions de dollars à la recherche, dont 2,4 millions provenaient de ses propres fonds. Mais, tandis que la plupart des dépenses de l'industrie sont reliées aux procédés de traitement, un seul organisme fédéral important s'intéresse à ce domaine précis.

Organismes gouvernementaux

Au gouvernement fédéral, Environnement Canada est le chef de file de la recherche sur l'eau. Ce ministère, dont le budget pour l'exercice 1986-1987 s'élevait à 745,3 millions de dollars, emploie plus de 10 300 personnes et administre 34 programmes distincts. Mitchell et McBean[12] estiment toutefois à seulement 40 millions de dollars les dépenses fédérales pour les recherches

sur l'eau en 1983, y compris pour la recherche menée par Environnement Canada.

La recherche effectuée à Burlington en Ontario par l'Institut national de recherche sur les eaux, qui relève de la Direction des eaux intérieures, porte principalement sur la qualité de l'eau. Mais presque tous les travaux de l'Institut concernent la collecte et l'interprétation de données en vue de dégager les problèmes; on n'y consacre pratiquement aucun effort à la mise au point de techniques pour remédier à ces problèmes.

Le Centre technique des eaux usées, situé au même endroit, relève du Service de protection de l'environnement d'Environnement Canada. Il s'agit du seul organisme fédéral à s'intéresser en priorité à l'évaluation et à la mise au point de techniques d'épuration des eaux usées et de gestion des résidus. Le Centre dispose d'un budget d'environ trois millions de dollars et fait actuellement de la recherche dans le domaine des nouveaux procédés d'élimination des boues biologiques, de la mise au point de bioréacteurs, de l'instrumentation et de l'automatisation des installations et de la déshydratation des boues. Il n'existe aucun centre analogue voué à la mise au point de techniques de traitement de l'eau potable.

L'Institut des eaux douces à Winnipeg relève de Pêches et Océans Canada et s'intéresse surtout à l'étude des habitats des poissons d'eau douce. Il y a peu de chances qu'il contribue de façon importante à la mise au point de techniques pour améliorer la qualité de l'eau.

Le Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada effectue actuellement plusieurs travaux sur le cycle de l'eau.

Santé et Bien-être social Canada mène des recherches sur la qualité de l'eau potable. Toutefois, les sommes affectées à ces travaux n'ont jamais été élevées et diminuent régulièrement depuis quelques années.

Quant aux autres ministères fédéraux, ils font peu de recherches sur l'eau. Les restrictions budgétaires ont obligé le Conseil national de recherches à dissoudre son comité permanent sur l'environnement. Certains travaux effectués par Energie, Mines et Ressources Canada dans le domaine de l'extraction des ressources ont trait à l'élimination des eaux résiduaires.

Des provinces, seules l'Ontario et le Québec affectent des sommes importantes à la recherche sur la qualité de l'eau. Mais les recherches provinciales visent principalement la collecte de données et la définition de problèmes en vue de l'élaboration de normes et de règlements appropriés concernant la qualité de l'eau -- une responsabilité qui incombe aux provinces en vertu de la constitution canadienne.

Les groupes de recherche financés par les provinces, comme la Fondation de recherches de l'Ontario, l'Alberta Research Council et le British Columbia Research Council, s'intéressent peu au développement de la technologie associée au traitement de l'eau et à l'épuration des eaux usées mais font parfois des recherches dans le domaine de la qualité de l'eau. C'est ainsi que la Fondation de recherches de l'Ontario a réalisé un projet qui consistait à mettre au point un contacteur biologique rotatif. Par la suite, deux des participants au projet ont fondé une entreprise pour fabriquer et vendre cet appareil.

On évalue à 0,9 million de dollars la somme totale des dépenses en 1984 des administrations municipales pour la recherche sur l'eau. Cette recherche portait en grande partie sur l'évaluation de nouveaux produits et la mise à l'essai de stations. L'ampleur de la recherche effectuée par les municipalités dépend grandement de leurs ingénieurs en chef. Par exemple, la communauté métropolitaine de Toronto ne collabore pas d'habitude à la mise au point de techniques ou à la démonstration de produits et ne fait pas de recherche interne, préférant servir la population au moyen des techniques classiques.

Universités

Six universités canadiennes comptent au moins quatre universitaires à plein temps qui font des recherches sur le traitement de l'eau et l'épuration des eaux usées et des programmes

de recherches auxquels collaborent un nombre assez important d'étudiants diplômés. La recherche universitaire sur l'eau vise généralement à approfondir nos connaissances en techniques de traitement, à optimiser les procédés de traitement par l'élaboration de modèles et à mettre au point de nouveaux procédés de traitement pour régler les difficiles problèmes intrinsèques de l'épuration des eaux usées.

A l'université d'Alberta à Edmonton, il y a un groupe de spécialistes dans le traitement de l'eau potable et l'épuration des eaux usées dans les régions de grand froid. Des chercheurs de l'Université de Toronto effectuent des travaux importants sur les procédés biologiques, utilisant notamment la modélisation par ordinateur. L'Ecole Polytechnique de Montréal se spécialise dans la recherche sur le traitement de l'eau potable et les procédés physiques et chimiques d'épuration des eaux usées. L'Université de Colombie-Britannique s'adonne à la recherche sur la dépollution. Un groupe de l'Université McMaster, dirigé par Gilles Patry et Marios Tsezos, se spécialise dans le domaine des bioadsorbants et de la modélisation dynamique. A l'Université de Waterloo, une équipe de recherche dirigée par John Cherry étudie la contamination des eaux souterraines.

Les universités ont dépensé près de 15 millions de dollars en 1984 pour la recherche sur l'eau. La plupart de ces fonds proviennent du Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada, mais Approvisionnements et Services Canada et le Conseil de recherches médicales financent également une partie de la recherche.

La recherche universitaire constitue une première étape essentielle du développement de la technologie canadienne de gestion des eaux. Mais les chercheurs des universités et de l'industrie formulent certaines plaintes :

- Il est de plus en plus difficile d'obtenir des subventions pour la recherche sur l'eau (tout comme pour la recherche dans plusieurs autres domaines). Cette pénurie de ressources entraîne deux conséquences. Premièrement, il est difficile de maintenir un programme de recherches spécialisées car les organismes de financement de la recherche estiment qu'il est nécessaire de répartir leurs ressources limitées entre de nombreux projets divers. Au début des années 80, on a dû, faute de fonds, dissoudre une équipe de recherche de l'Université McMaster hautement respectée. Deuxièmement, la recherche visant le développement technologique se limite souvent à la phase des essais préliminaires, qui exige moins de fonds que les phases subséquentes.

- La recherche universitaire (comme la plupart de la recherche subventionnée par les gouvernements) ne donne pas de résultats à valeur commerciale immédiate. Il y a plusieurs raisons à cela. D'abord, il est rare que le secteur privé collabore ou subventionne la recherche universitaire sur l'eau. En outre, la pénurie de fonds pour la recherche sur l'eau la limite aux prototypes ou à des modèles théoriques et ne permet pas les expériences pilotes qui risquent d'entraîner des coûts de fabrication et d'exploitation. Enfin, il y a l'incompatibilité entre les objectifs commerciaux et ceux de la recherche universitaire.

- Les entreprises du secteur canadien des ressources en eau sont peu nombreuses et généralement de taille modeste et disposent de ressources limitées. C'est pourquoi il n'y a pas de liens de financement entre les entreprises et les universités et pourquoi ces entreprises sont incapables de combler le fossé qui sépare les résultats de la recherche universitaire (dite "pure") et la rentabilité commerciale.

Secteur privé

Très peu d'entreprises privées effectuent des recherches dans le domaine du traitement de l'eau et de l'épuration des eaux usées. Selon Mitchell et McBean, cités plus haut, le secteur privé n'a affecté en 1983 que 5,6 millions de dollars à la recherche dans ce domaine. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces dépenses restreintes :

- La plupart des filiales canadiennes d'entreprises étrangères n'effectuent aucune recherche au Canada.
- Les sociétés canadiennes consacrent leurs efforts à revoir et à améliorer leurs produits (elles récupèrent immédiatement ces coûts) plutôt qu'à la recherche à long terme.
- Les contrats passés avec le secteur privé représentent une proportion relativement faible des fonds consacrés par les gouvernements fédéral et provinciaux à la recherche dans ce domaine; le gouvernement fédéral accorde des fonds à la recherche universitaire plutôt qu'à la recherche industrielle.
- Les grandes sociétés canadiennes oeuvrant dans les secteurs de la chimie, du pétrole et des ressources naturelles et qui font beaucoup de R-D n'ont pas encore étendu leur champ d'intérêt au domaine de l'environnement.

La société Canviro Engineering Consultants de Kitchener en Ontario jouissait d'une réputation solide dans l'exécution de contrats de recherche sur l'environnement, notamment dans le domaine du traitement biologique avancé. En 1986, elle fut achetée par CH2M Hill, une société américaine d'ingénieurs-conseils et de concepteurs. Depuis lors, Canviro a abandonné la recherche pour se consacrer à l'exécution de contrats communs de conception technique pour des municipalités. Ce changement d'orientation limite encore plus la recherche dans le domaine du traitement de l'eau et de l'épuration des eaux usées.

6. MODES DE COMMERCIALISATION DE LA TECHNOLOGIE

L'ensemble des données disponibles sur le secteur canadien des ressources en eau révèlent l'existence d'un fossé profond entre les activités de recherche et les activités commerciales. Ce fossé est néfaste vu les avantages considérables à tirer d'une telle industrie : croissance de l'emploi, diminution des importations, augmentation des exportations de produits manufacturés, progrès technologiques. Mais, pour bénéficier des avantages qui découleraient de la capacité d'une production intérieure de répondre aux besoins croissants du Canada dans ce secteur, il faudra renverser les tendances actuelles à la diminution de la part du marché des fabricants canadiens et au manque de commercialisation de nouvelles technologies.

Cadre de participation

Le secteur canadien des ressources en eau compte divers intervenants dont les rôles, objectifs et motivations diffèrent (Tableau 7). Ces différences empêchent souvent de maximiser les avantages commerciaux associés à la recherche puisque :

- les objectifs des participants ne cadrent pas toujours avec un transfert complet de la technologie,
- en règle générale, les objectifs des participants ne nécessitent pas d'interaction entre ces derniers,
- les fabricants sont pratiquement les seuls à être en mesure de commercialiser la technologie, mais les liens entre ces derniers et les autres intervenants sont faibles, et
- les fonds consacrés à la recherche appliquée sont insuffisants.

Recommandations pour faciliter le transfert technologique

On peut classer en trois catégories les initiatives susceptibles de favoriser la commercialisation de la technologie associée au traitement de l'eau et à l'épuration des eaux usées :

- des mécanismes pour stimuler la recherche et le développement industriels,
- des mécanismes pour accentuer la collaboration entre les chercheurs universitaires et ceux de l'industrie, et
- des mécanismes pour faciliter le transfert technologique des organismes gouvernementaux au secteur privé.

Jusqu'à présent, le gouvernement fédéral a tenté par divers moyens de stimuler la R-D industrielle. Il a notamment instauré des programmes comme le Programme des projets Industrie-Laboratoires (PPIL), le Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI), le mécanisme des propositions spontanées (PS), des mesures fiscales d'incitation, comme le crédit d'impôt pour la recherche scientifique et le développement expérimental et, plus récemment, la portion du crédit d'impôt à l'investissement qui concerne la recherche scientifique.

Plusieurs industries, outre celles du traitement de l'eau et de l'épuration des eaux usées, peuvent se prévaloir de ces programmes dont l'efficacité varie, dans une certaine mesure, selon l'industrie. Comme nous l'avons déjà souligné, le besoin le plus urgent de l'industrie des ressources en eau est de faciliter le transfert technologique du laboratoire aux utilisateurs au moyen de démonstrations des produits et procédés et d'essais d'applications.

Malheureusement, le PPIL et les propositions spontanées excluent expressément ces aspects du développement technologique.

Les mesures fiscales actuelles sont également de nature à décourager le volet "développement" de la R-D. Les définitions révisées de la R-D publiées par Revenu Canada à l'automne de 1986 limitent sérieusement les produits admissibles aux crédits pour la R-D.

Pour encourager le secteur privé à s'engager dans la recherche et le développe-

Tableau 7. Profil des intervenants dans l'industrie des ressources en eau

Intervenants	Rôle actuel dans le domaine de la technologie	Objectifs	Principales forces	Limites ou contraintes
Fabricants du secteur privé	Effectuer de la R-D à court terme sur les produits Acquérir de la technologie de l'extérieur Fabriquer, vendre et perfectionner du matériel	Offrir une technologie supérieure ou concurrentielle Faire des profits pour poursuivre leurs activités Répondre à un besoin du marché	Connaissent les besoins du marché Appliquent économiquement la technologie Font passer la technologie de l'état de concept à l'état de produit	Fonds de recherche limités Connaissances limitées Connaissance restreinte de la concurrence
Universités	Définir les problèmes Elaborer des modèles de procédés Mettre au point et à l'essai des procédés à l'échelle expérimentale	Approfondir les connaissances scientifiques Former d'autres Obtenir des fonds de recherche Accroître les compétences personnelles	Excellence technique Chercheurs, étudiants diplômés motivés A la fine pointe des connaissances	Difficulté de réaliser de la recherche à long terme Accent limité sur le volet développement de la R-D
Utilisateurs industriels de l'eau	Utilisateurs en bout de ligne de la nouvelle technologie Permettent des études pilotes reliées au développement technologique Certains s'occupent de développement technologique	Fournir une eau de qualité ou évacuer leurs eaux usées de façon efficace	Mise en oeuvre de la technologie Evaluation de l'efficacité	N'ont pas le mandat de mettre au point de nouveaux produits Fonds d'exploitation limités
Gouvernement	Définir les problèmes Recueillir des données pour soutenir l'élaboration de politiques Un peu de recherche appliquée	Maintenir des programmes Elaborer de bonnes lignes directrices sur la protection de l'environnement Aider les secteurs cibles de l'industrie	Disponibilité des ressources Accès à un grand éventail de connaissances Potentiel élevé d'échange de renseignements	Son mandat ne cadre pas avec la mise au point d'applications technologiques Manque de souplesse N'a pas de raisons de commercialiser la technologie

ment dans le domaine des ressources en eau, le gouvernement fédéral doit adopter des mesures d'incitation qui :

- considèrent les expériences pilotes servant au développement et à la démonstration de produits comme une phase normale de la recherche,
- traitent les études de marché et la planification commerciale comme une activité parallèle à la recherche et au développement de produits et donc admissible à un soutien financier, et
- tiennent compte des ressources limitées des entreprises nouvelles ou de taille modeste qui caractérisent ce secteur.

La collaboration entre les chercheurs universitaires et ceux de l'industrie a tendance à s'accentuer. Un certain nombre de projets conjoints industrie-université sont présentement en cours dans les domaines de l'informatique, de la technologie des communications et des nouveaux matériaux. Ces projets reçoivent l'appui des gouvernements provinciaux à condition de conduire à la création de centres d'excellence. Les universités perçoivent l'établissement de liens avec l'industrie comme un moyen d'accroître à la fois leur financement et l'à-propos de leurs recherches. L'industrie y perçoit un moyen de s'assurer un accès rapide aux progrès technologiques.

Toutefois, les liens entre les entreprises du secteur du traitement de l'eau et de l'épuration des eaux usées et les chercheurs universitaires sont beaucoup moins étroits que les liens dans d'autres domaines. Deux raisons expliquent cet état de fait : les entreprises canadiennes sont généralement trop petites pour investir dans une recherche qui ne donne pas de résultats avant trois ans, et il existe peu ou pas d'universités au Canada qui soient des centres d'excellence dans le domaine des technologies de l'eau.

Les mesures suivantes raffermiraient les liens entre l'université et l'industrie dans ce domaine :

- la création par les provinces de centres d'excellence dans le domaine du traitement de l'eau et de l'épuration des eaux usées,
- l'instauration de stimulants financiers pour les entreprises s'engageant dans des projets conjoints avec les universités, et
- l'encouragement des universités à participer dans les nouvelles entreprises découlant de leurs recherches afin de profiter du succès commercial des produits.

Le transfert de la technologie des laboratoires gouvernementaux au secteur privé continue de faire problème. Pour y voir, le gouvernement fédéral a créé la Société canadienne des brevets et d'exploitation Limitée (SCBEL), qui s'assure que les innovations découlant de la recherche fédérale sont protégées par des brevets et que l'industrie a accès à cette technologie au moyen de licences. Certaines difficultés subsistent, dont les suivantes :

- La SCBEL, à titre de propriétaire de la technologie, forme une barrière qui sépare le détenteur de licence des chercheurs qui possèdent les connaissances techniques.
- Souvent, la technologie pour laquelle une licence est accordée n'est pas tout à fait au point. Ceci a pour effet de faire porter au bénéficiaire de la licence un risque technique et des dépenses considérables.
- La SCBEL est plutôt un agent qu'un moteur et ne peut contribuer financièrement à faire avancer une technologie prometteuse au stade où une licence peut être accordée.
- Les chercheurs et les ministères retirent peu d'avantages de la concession de licences relatives à une technologie qui s'avère un succès.

Il y a plusieurs stratégies qui permettraient d'améliorer le transfert technologique du gouvernement au secteur privé. Le facteur le plus important de la réussite d'un tel transfert est la participation continue des chercheurs au processus. Souvent, les règles régissant l'emploi dans les organismes gouvernementaux et les universités manquent de souplesse et le chercheur doit donc choisir entre demeurer à l'emploi du gouvernement, ce qui le tient à l'écart de la commercialisation du produit,

ou accepter un emploi au sein de l'entreprise détentrice de la licence. Le chercheur dont les intérêts à long terme ne coincident pas nécessairement avec ceux de l'entreprise peut décider de demeurer au gouvernement au détriment du transfert technologique.

Il existe plusieurs façons de favoriser la participation des chercheurs aux projets de commercialisation de la technologie qu'ils ont contribué à mettre au point :

- Permettre aux chercheurs universitaires et à ceux des centres de recherche gouvernementaux de prendre des congés sans solde pour s'engager dans des activités commerciales tout en conservant leur poste et leur ancienneté.

- Favoriser la commercialisation du travail des centres de recherche en mettant sur pied des "incubateurs de technologies". Il s'agit d'entreprises de mise en marché auxquelles les centres de recherche participent en mettant leurs installations et leur personnel à la disposition des entreprises.

- Encourager les organismes gouvernementaux et universitaires à mettre à la disposition des nouvelles entreprises les services de leurs chercheurs, en concluant des ententes qui tiennent compte de l'encaisse limitée de ces entreprises. Par exemple on pourrait convenir d'une participation dans l'entreprise en échange de services de recherche ou de commercialisation.

Le manque de communication est un autre problème qui complique souvent la transformation des résultats de la recherche gouvernementale en produits commerciaux. Même au Canada, il est difficile de présenter les technologies à d'éventuels preneurs de licences. Cela est particulièrement vrai dans le domaine de l'écologie où la recherche est répartie entre plusieurs ministères.

Les éventuels preneurs de licences profiteraient d'un répertoire des projets de recherche en cours au gouvernement. Une telle initiative permettrait aux entreprises de s'intéresser aux premiers stades des travaux de recherche, d'en suivre les progrès, d'exprimer, le cas échéant, le point de vue de l'industrie, et d'avoir plus d'assurance au moment d'obtenir éventuellement une licence.

NOTES

1. B. Mitchell et E. McBean, Water Resources Research in Canada: Issues and Opportunities, rapport de recherche n° 16, Enquête sur la politique fédérale relative aux eaux (Ottawa, 1985), 75.

2. U.S. Department of Commerce, International Trade Administration, A Competitive Assessment of the U.S. Water Resources Equipment Industry, Capital Goods and International Construction Sector Group, (Washington, D.C., U.S. Department of Commerce, 1985), 1.

3. Environnement Canada, Service de la protection de l'environnement, Inventaire national des équipements en eau des municipalités du Canada, 1981 (Ottawa, Approvisionnements et Services, 1982).

4. L'Association canadienne pour la qualité de l'eau, Communiqué (Waterloo, Ontario 1986), 5.

5. R.E. Smith, The Pollution Control Industry in Ontario (Toronto, ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1978).

6. W.M. Glenn, Corpus Information Services, "Jobs and the Environment: Some Preliminary Number Crunching," Alternatives 14(3) (1987), 20.

7. Ibid., 26.

8. Ibid., 25.

9. T. Muir, Some Economic Aspects of Pollution Abatement and Environmental Industries, rapport inédit préparé pour la Direction des eaux intérieures -- Région de l'Ontario, Direction générale des eaux, Environnement Canada.

10. U.S. Department of Commerce, op. cit., 23.

11. B. Mitchell et E. McBean, op. cit., 10.

12. Ibid., 35-36.

13. Ibid., 35.

Le Conseil des sciences du Canada est un organisme consultatif national en matière de politique scientifique et technologique. Ses principales fonctions consistent à :

- étudier les questions de politique scientifique et technologique;
- recommander des lignes d'action au gouvernement;
- sensibiliser les Canadiens à l'importance des sciences et de la technologie dans leur vie;
- encourager le débat entre les autorités publiques, les chefs d'entreprises et les établissements universitaires au sujet de la politique scientifique et technologique.